

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-264822

(43)Date of publication of application : 26.09.2001

(51)Int.Cl.

G02F 1/141
G02F 1/133
G02F 1/1337

(21)Application number : 2000-080610

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 22.03.2000

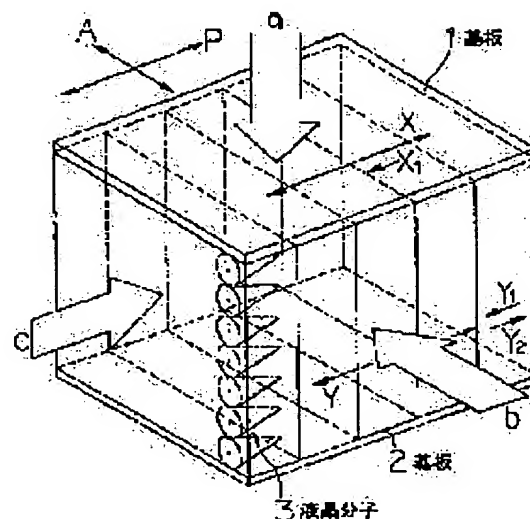
(72)Inventor : BOKU HEICHU
ISOZAKI TADAAKI
NITO KEIICHI

(54) LIQUID CRYSTAL DISPLAY DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a monostable ferroelectric liquid crystal display device having a large cone angle.

SOLUTION: A pair of substrates 1, 2 are disposed facing each other almost parallel to each other as a liquid crystal cell, and a liquid crystal material having a SmC* phase is inserted between the substrates 1, 2. The substrates are preliminarily subjected to the uniaxial aligning treatment and the substrates are disposed with the direction of the aligning treatment of each substrate parallel to the other. After a liquid crystal material at a high temperature showing an isotropic phase is injected into the liquid crystal cell, an electric field to induce the Goldstone-mode group fluctuation is applied during cooling the liquid crystal material into the SmC* phase so that the monostable structure is formed in which the projected component of the liquid crystal director (axis of the liquid crystal molecule) onto the substrate and the projected component of the cone axis onto the substrate are coincident with the direction of the uniaxial aligning treatment.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-264822

(P2001-264822A)

(43) 公開日 平成13年9月26日 (2001.9.26)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テマコード* (参考)

G 0 2 F 1/141

G 0 2 F 1/133

5 6 0

2 H 0 8 8

1/133

5 6 0

1/1337

5 1 0

2 H 0 9 0

1/1337

5 1 0

1/137

5 1 0

2 H 0 9 3

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2000-80610 (P2000-80610)

(22) 出願日 平成12年3月22日 (2000.3.22)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 朴 炳柱

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 磯崎 忠昭

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 仁藤 敬一

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

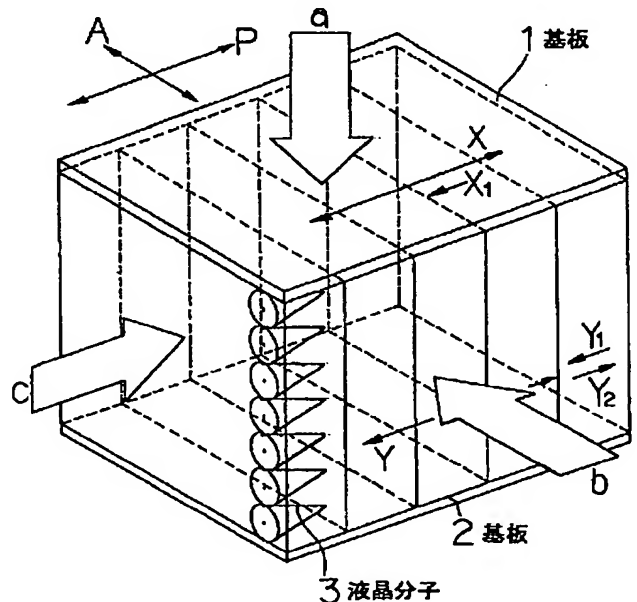
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 液晶表示素子およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 コーン角の大きい単安定強誘電性液晶表示素子を製作する。

【解決手段】 一対の基板1、2が液晶セルとして互いに略平行に対向配置され、基板1と基板2の間にSmC*相を有する液晶材料が介挿される。これらの基板には、一軸配向処理が前もって施されており、それぞれの配向処理方向が互いに略平行となるように配置される。この液晶セルに等方相を示す高温の液晶材料を注入した後、SmC*相に冷却する間、ゴールドストーンモード集団揺動を誘発する電界を液晶に印加することによって、液晶ダイレクタ（液晶分子軸）の基板への投影成分およびコーン軸の基板への投影成分が一軸配向処理方向に一致した単安定構造が形成される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 それぞれ一軸配向処理が施され、その配向処理方向が互いに略平行となるように対向配置される一対の基板と、前記基板間に介挿され、カイラルスメクチック相を有する液晶層とを備えた液晶表示素子であつて、

前記液晶層が、カイラルネマチック相からカイラルスメクチック相に転移するまでの間、液晶分子のゴールドストーンモード揺動を誘発する電界を印加されてなり、前記液晶分子が描くコーンの軸方向の基板への投影成分および液晶分子自身の軸方向の基板への投影成分がそれぞれ基板の配向処理方向とほぼ同一とされ、この状態が初期状態として単安定化されたことを特徴とする液晶表示素子。

【請求項 2】 前記カイラルスメクチック相がカイラルスメクチック C 相である請求項 1 記載の液晶表示素子。

【請求項 3】 前記印加される電界がゴールドストーンモード揺動の周波数範囲の交番電界である請求項 1 記載の液晶表示素子。

【請求項 4】 前記交番電界が $1\text{ Hz} \sim 10\text{ KHz}$ で 20 V 以下である請求項 2 記載の液晶表示素子。

【請求項 5】 基板上に一軸配向処理を施す工程と、一対の前記基板を、それぞれの配向処理方向が互いに略平行となるように対向配置する工程と、対向配置された前記基板間に液晶材料を注入する工程と、

注入された液晶材料をカイラルスメクチック相を呈する温度まで冷却する工程と、

カイラルネマチック相を呈する温度からカイラルスメクチック相を呈する温度まで冷却する間、前記液晶材料に液晶分子のゴールドストーンモード揺動を誘発する電界を印加する工程とを含むことを特徴とする液晶表示素子の製造方法。

【請求項 6】 前記液晶材料が室温でカイラルスメクチック C 相を有することを特徴とする請求項 5 記載の液晶表示素子の製造方法。

【請求項 7】 前記電界がゴールドストーンモード揺動の周波数範囲の交番電界である請求項 5 記載の液晶表示素子の製造方法。

【請求項 8】 前記交番電界が $1\text{ Hz} \sim 10\text{ KHz}$ で 20 V 以下である請求項 7 記載の液晶表示素子の製造方法。

【請求項 9】 一軸配向処理が施された一対の基板が配向処理方向が互いに所定角度で交差するように対向配置されるとともに、前記基板間にカイラルスメクチック相を有する液晶層が介挿されてなり、前記液晶層が単安定化されたことを特徴とする液晶表示素子。

【請求項 10】 前記液晶層の液晶分子が描くコーンの軸方向の基板への投影成分および液晶分子自身の軸方向の基板への投影成分がそれぞれ前記所定角度の二等分線

の方向と同一とされ、この状態が初期状態として単安定化されたことを特徴とする請求項 9 記載の液晶表示素子。

【請求項 11】 前記カイラルスメクチック相がカイラルスメクチック C 相である請求項 9 記載の液晶表示素子。

【請求項 12】 前記所定角度が、液晶分子のチルト角よりも小さいことを特徴とする請求項 9 記載の液晶表示素子。

10 【請求項 13】 前記液晶層がカイラルスメクチック相のらせん構造を消滅させるよう薄く形成されることを特徴とする請求項 9 記載の液晶表示素子。

【請求項 14】 基板上に一軸配向処理を施す工程と、一対の前記基板を、それぞれの配向処理方向が互いに所定角度で交差するように対向配置する工程と、対向配置された前記基板間に液晶材料を注入する工程と、

注入された液晶材料をカイラルスメクチック相を呈する温度まで冷却する工程とを含むことを特徴とする液晶表示素子の製造方法。

【請求項 15】 前記液晶材料が室温でカイラルスメクチック C 相を有することを特徴とする請求項 14 記載の液晶表示素子の製造方法。

【請求項 16】 前記所定角度が、液晶分子のチルト角よりも小さいことを特徴とする請求項 14 記載の液晶表示素子の製造方法。

【請求項 17】 前記対向配置する工程は、前記基板間のギャップを、カイラルスメクチック相のらせん構造が消滅するような幅に設定する工程を有することを特徴とする請求項 14 記載の液晶表示素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、強誘電性液晶を用いた液晶表示素子およびその製造方法に係り、特に単安定強誘電性液晶表示素子の製造技術に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、ツイストネマチック型液晶表示素子（以下、TN-LCDと称する。）やスーパーツイステッド複屈折効果（supertwisted birefringence effect）型液晶表示素子（以下、SBE-LCDと称する。）等のネマチック液晶を用いた液晶表示素子が知られている。

【0003】しかしながら、TN-LCDでは、駆動方法が複雑で駆動許容範囲が狭いため、十分なコントラストが得にくいという問題がある。また、TN-LCDを改良したSBE-LCDでも、液晶の分子配向が大きなねじれ角を持っているため、ディスプレイの大画面化に伴い、コントラストが低下したり、応答速度が遅くなるという問題がある。

50 【0004】このようなネマチック液晶を用いた液晶表

示素子の欠点を改善するものとして、カイラルスメクチックC（以下、SmC*と称する。）相の液晶すなわち強誘電性液晶（FLC）を用いた、いわゆる表面安定型強誘電性液晶表示素子（SSFLC）が1980年にN. A. ClarkとLagerwallによって提案されている（特開昭56-107216号公報、米国特許第4367924号）。

【0005】この液晶表示素子は、液晶分子の誘電異方性を利用した前述の液晶表示素子と異なって、強誘電性液晶の自発分極の極性を電界の極性に一致させる際の回転力を利用した構造をとっており、双安定性、メモリ性および高速応答性を有する。この液晶表示素子は、強誘電性液晶が薄いセルギャップに注入されたもので、これにより、強誘電性液晶のらせん構造が基板面によって壊れ、液晶分子がスメクチック層の法線から角度 θ 傾斜した状態と角度 $-\theta$ 傾斜した状態がともに安定に存在し、双安定性が得られる。このセル内のFLCに電圧を印加すると、液晶分子の配向および自発分極の方向がそれぞれ一様になる。このため、印加電圧の極性をスイッチすることで、液晶分子の配向を一方の安定な状態からもう一方の安定な状態にスイッチすることができる。

【0006】セル内の強誘電性液晶での複屈折光は上記スイッチ動作によって変化するため、セルを偏光子でサンドイッチすることにより、透過する光を制御することができる。さらに、印加電圧がなくなっても、液晶分子の配向は電圧が印加されていたときと同じ状態に保持されるため、メモリ性も得られる。また、上記スイッチ動作は、液晶分子の自発分極と電界が直接作用するため、応答時間がTN-LCDの $1/1000$ 以下という高速応答性を有し、高速表示を可能にする。このように、強誘電性液晶のメモリ性や高速応答性を利用することで、多数の走査線を駆動する手段を用いた高解像度の液晶表示装置の実現が可能となっている。

【0007】しかしながら、このClarkとLagerwallによって提案された液晶表示素子にも多くの問題点がある。その1つは、明と暗の2つの状態間でのスイッチに限られるため、メモリ性は有するものの階調表示ができないという問題である。

【0008】この問題を解消するものとして、特開平1-152430号公報にて、SmC*相のピッチ p とセルギャップ d との関係が $d/p > 5$ 、すなわち $d = 2\mu\text{m}$ で $p < 0.4\mu\text{m}$ のピッチを有するSmC*液晶を使用し、SmC*相のらせん軸が基板の配向処理方向に向き、かつ安定状態において液晶分子のダイレクタ（分子軸）がらせんを形成するようにした液晶表示セルが提案されている。この液晶表示セルでは、強誘電性液晶のヘリックス歪効果を用いた単安定状態において、低電圧駆動でテレビレートのアナログ階調が実現可能とされている。

【0009】しかしながら、この場合には、高速応答性

を得るためにはその動作原理上、ヘリカルピッチが極端に短い液晶系が必要となり、均一配向が難しいという新たな問題が発生する。

【0010】また、別種の液晶表示セルとして、米国特許第5172257号（1992年）にて、ツイステッド強誘電性液晶が液晶セルの対向する面に垂直な方向に向いたツイステッド強誘電性液晶光学素子が提案されている。これは、セルに電圧が印加されていないときは、ツイステッド液晶によって光を透過し、電圧印加のもとでは、液晶のねじれが解けて、基板表面近傍を除いた大部分が配向方向に揃い、光を伝搬するツイスト構造が壊れるため、直交配置された偏光子のもとで光が遮断されるというものである。ここでは、印加電圧を小さくすると、解ける液晶のねじれが部分的となり、部分的に光を伝搬して直線偏光を楕円偏光にするため、印加電圧によって透過する光量を連続的に制御することにより、階調制御できるとされている。

【0011】しかしながら、ねじれの均一配向が難しいため大型で均質なツイステッド強誘電性液晶装置を製造することが困難であるという新たな問題がある。このように、従来の強誘電性液晶素子では、連続階調表示（いわゆるアナログ階調表示）の実現が難しく、実用化に際してその用途が大きく制約されている。

【0012】これらの欠点を解消するために、特開平7-084262号公報にて、応答が速くかつ階調表示が可能な片安定強誘電性液晶表示素子が提案されている。この表示素子は、等方相、コレステリック相およびSmC*相に相転移する液晶材料が一对の基板にサンドイッチされており、モノ・ドメイン配向とさせるために、SmC*相まで冷却する間、直流電界の印加が行われている。そして、この表示素子においては、液晶分子からコーン角の $1/2$ の角度で傾いているコーンの軸方向の基板への投影成分および液晶分子自身の軸方向の投影成分がそれぞれ基板の一軸配向処理方向に同一に配列され、この状態が初期状態として単安定化されている。このような液晶表示素子において、電界が印加されると、液晶分子はコーンに沿って回転可能となり、基板表面から見た見掛けのチルト角は、印加電界の強度に応じて連続的に変化する。また、これとは逆の極性の電界が印加されると、液晶分子はコーンに沿って回転不可となり、基板面での見掛けのチルト角は変化しない。したがって、直交偏光子のもとでの透過光の強度が印加電圧の一方のみの極性によってチルト角の増大とともに連続的に増大し、連続階調すなわちアナログ階調が実現可能となる。

【0013】しかしながら、この場合には、駆動中の全体の透過光が弱くなるという新たな問題が生じる。これは、液晶材料を電氣的に中性にするために印加電圧の極性を交互に変えているが、光を透過させる作用があるのは一方の極性のみのためである。したがって、この強誘電性液晶素子においては、非常に明るい表示を行うこと

は難しい。

【0014】この欠点を解消するものとしては、特許番号第2982330号公報および米国特許第5214523号にて、応答が速くアナログ階調が可能な単安定強誘電性液晶表示素子が提案されている。この単安定強誘電性液晶表示素子是一对のアンチパラレルな基板にSmC*相の液晶材料がサンドイッチされて形成されている。この単安定強誘電性液晶セルには、温度によって高い方から順に等方性、コレステリック（カイラルネマチック）、スメクチックA（SmA）、SmC*（カイラルスメクチックC）と相変化する液晶組成物が使用される。等方相の状態では液晶がセルに注入され、カイラルスメクチック相まで冷却されるが、その間のネマチック相とSmA相間の相転移において、例えば機械的なラビングによる一軸配向処理方向と層の法線の方向が平行となるようなスメクチック層が形成される。SmC*相まで冷却された後でも、SmA相における層の法線方向は一軸配向処理方向に平行に保持される。このため、液晶分子が描くコーンの軸方向の基板への投影成分および液晶分子自身の軸方向の基板への投影成分がそれぞれ基板の配向処理方向と同一とされ、この状態が初期状態として単安定化されている。電界が印加されると、液晶分子はコーンに沿って回転し、基板表面に見える見掛けのチルト角が印加電界の強度に応じて連続的に変化する。直交偏光子のもとでの透過光の強度はチルト角の増大とともに連続的に増大するため、連続階調すなわちアナログ階調が可能となる。

【0015】単安定強誘電性液晶セルにおいては、液晶は配向膜のラビング方向に沿って非常に規則性の高い縞状組織を呈し、この縞状組織がコントラスト比を50以下に低下させる。このため、コントラスト比を上げるために、カイラルネマチック（N*）相の温度にて700Hzで20～50Vの電界を印加し、かつ電界印加状態のままスメクチックA相に冷やしさらにSmC*相まで冷却する。これによって、単安定強誘電性液晶セルの非常に規則性の高い縞状組織はモノドメイン化され、低電圧でリニアの階調性と80以上の高コントラスト比が得られる。

【0016】しかしながら、従来の配向方法を使用して単安定強誘電性液晶セルを作成した場合には、次のような制約条件のために高度な明るさと高コントラストの最適な単安定強誘電性液晶セルを得ることは難しい。すなわち、高速応答性の電気光学液晶表示素子として必要な100μsオーダーの応答時間と高度な明るさを得るためには、室温で液晶の初期状態がコーン角約90°の単安定状態であることが必要である。これは、双安定強誘電性液晶素子の理想的なコーン角約45°の約2倍である。また、電界を印加する前述の方法において、縞状の単安定マルチドメインから傾斜ブックシェルフ（inclined bookshelf）状の層構造を有する

単安定モノ・ドメイン配向を得るためには20V以上の比較的高い電界強度が必要である。

【0017】また、上記単安定強誘電性液晶セルに、等方相、コレステリック（カイラルネマチック）相、SmC*相と相転移する液晶組成物を用いた場合には、コレステリック相とSmC*相間の転移においてスメクチック層が形成され、同時に液晶分子が層の法線方向からチルトし始めスメクチックコーンが形成される。このため、層の法線方向が一軸配向処理方向に対して不規則となり、初期状態においてコーンの軸方向の基板への投影成分が基板の配向処理方向と同一とならない可能性がある。この場合には、電界印加による液晶分子のコーンに沿った再配向は対称とはならず、基板表面に見える見掛けのチルト角も印加電界の極性に対して非対称となるため、直交偏光子のもとでの透過光の強度は非対称な挙動を示すこととなり、安定なアナログ階調制御が困難となる。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、従来技術では、コーン角の大きい単安定強誘電性液晶を作成することが難しく、高速応答性およびアナログ階調性を有し、高度に明るく高コントラストの表示が可能な液晶素子を実現することが難しいという問題があった。

【0019】本発明は、かかる点に対処してなされたもので、コーン角の大きい単安定強誘電性液晶を有し、非常に高度な明るさ、アナログ階調表示、速い応答速度および高コントラスト比を可能にした液晶表示素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0020】また本発明は、室温で大きなコーン角を持つ双安定強誘電性液晶を使用して大きなコーン角を有する単安定強誘電性液晶素子を実現し、高コントラストおよび高明ろさ等の光学特性を改善した液晶表示素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0021】また本発明は、電界誘導予備転移効果により、カイラルスメクチック相への相転移中のスメクチック層およびスメクチックコーンの急峻な形成を抑制することによって、秩序性の高いスメクチック層構造を有する液晶表示素子およびその製造方法を提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】すなわち請求項1の発明は、それぞれ一軸配向処理が施され、その配向処理方向が互いに略平行となるように対向配置される一对の基板と、前記基板間に介挿され、カイラルスメクチック相を有する液晶層とを備えた液晶表示素子であって、前記液晶層が、カイラルネマチック相からカイラルスメクチック相に転移するまでの間、液晶分子のゴールドストーンモード揺動を誘発する電界を印加されてなり、前記液晶分子が描くコーンの軸方向の基板への投影成分および液晶分子自身の軸方向の基板への投影成分がそれぞれ基板

の配向処理方向とほぼ同一とされ、この状態が初期状態として単安定化されたことを特徴とする。

【0023】また請求項5の発明は、液晶表示素子の製造方法において、基板上に一軸配向処理を施す工程と、一対の前記基板を、それぞれの配向処理方向が互いに略平行となるように対向配置する工程と、対向配置された前記基板間に液晶材料を注入する工程と、注入された液晶材料をカイラルスメクチック相を呈する温度まで冷却する工程と、カイラルネマチック相を呈する温度からカイラルスメクチック相を呈する温度まで冷却する間、前記液晶材料に液晶分子のゴールドストーンモード揺動を誘発する電界を印加する工程とを含むことを特徴とする。

【0024】上記発明において、カイラルスメクチック相はカイラルスメクチックC相である。このカイラルスメクチック相に冷却される間に印加される電界の周波数および強度は、液晶分子のゴールドストーンモード揺動を誘発するため、ゴールドストーンモード揺動の周波数範囲、例えば1Hz～10KHzで選択され、ゴールドストーンモード揺動を完全に抑制しないよう、例えば20V以下に設定される。

【0025】カイラルスメクチック相に冷却する間何の処理もされなかった強誘電性液晶素子は、一般に双安定性を示す。しかしながら、上記の電界処理が液晶セルに適用されると、カイラルスメクチック相への相転移中に液晶分子のゴールドストーンモード集団揺動および双極子スイッチングを誘発することができる。この液晶運動は時間平均で対称であり、この対称運動が液晶分子の双安定状態の一方での固定化を防ぐ。これにより、単安定化に及ぼす配向層の影響はより大きくなり、その結果、単安定状態の安定化が可能となる。このような好適な条件下で、強誘電性液晶は双安定状態から単安定状態に変換される。この状態では、液晶材料の液晶分子が描くコーンの軸方向の基板への投影成分および液晶分子自身の軸方向の基板への投影成分が基板の配向処理方向と同一方向となるように配向され、この状態が初期状態として単安定化される。このように、本発明における電界処理は、双安定強誘電性液晶のゴールドストーンモード揺動を誘発するためのものであり、先行技術における単安定強誘電性液晶の層構造の再構成のためのものとは異なる。

【0026】また請求項9の発明は、液晶表示素子において、一軸配向処理が施された一対の基板が配向処理方向が互いに所定角度で交差するように対向配置されるとともに、前記基板間にカイラルスメクチック相を有する液晶層が介挿されてなり、前記液晶層が単安定化されたことを特徴とする。

【0027】また請求項14の発明は、液晶表示素子の製造方法において、基板上に一軸配向処理を施す工程と、一対の前記基板を、それぞれの配向処理方向が互い

に所定角度で交差するように対向配置する工程と、対向配置された前記基板間に液晶材料を注入する工程と、注入された液晶材料をカイラルスメクチック相を呈する温度まで冷却する工程とを含むことを特徴とする。

【0028】請求項9～17の発明においては、液晶材料は、高温から低温になるにしたがって等方相－カイラルネマチック相－カイラルスメクチック相と秩序性の低い相から秩序性の高い液晶相へと相変化する。この液晶材料が高温状態で基板間に注入され、カイラルスメクチック相に冷却されると、基板に施された互いに角度 α で交差する一軸配向方向が表面効果の対称性の破れを生じ、液晶のスメクチック層の不規則な形成を阻止する。これにより、層の法線方向を所定方向に平行となるように制御することができ、電界のない状態、すなわち初期状態で、交差角 α の二等分線方向に一樣な単安定強誘電性状態が得られる。交差角 α は液晶分子のチルト角 θ よりも小さく、 $0^\circ < \alpha < \theta$ の範囲で選択される。

【0029】この状態に電界を印加すると、液晶分子はスメクチックコーンに沿って回転し、基板表面に見える見掛けのチルト角が印加電界強度に応じて連続的に変化する。直交偏光子の存在下での透過光の強度は見掛けのチルト角の増大とともに連続的に増大し、連続階調ないしアナログ階調が得られることとなる。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態の液晶表示素子の基本構造を示すもので、一対の基板1、2が液晶セルとして互いに略平行に対向配置され、基板1と基板2の間に液晶材料が介挿されている。これらの基板には、ラビングや斜方蒸着のような方法によって一軸配向処理が前もって施されている。液晶材料は、前述したSmC*相を有する。

【0031】液晶材料は強誘電性であっても、反強誘電性であってもよく、要はSmC*相をとりうるものであればよい。ただし、配向性を考慮すると、SmC*相のらせんピッチが十分に長く、自発分極が大きく、室温を含む広い温度範囲でSmC*相を示すものが好ましい。

【0032】したがって、従来より公知のカイラル液晶あるいは非カイラル液晶を混合した組成物等が好適である。特に、非カイラル液晶としてフェニルピリジン系液晶または3環性エステル系のフッ素置換誘導体またはそれらの混合物を含み、高温部でコレステリック相を示す液晶組成物が好適である。

【0033】一方、基板1、2は、いずれもガラス板等の透明基板上に透明電極を形成し、さらにその上にポリイミド膜を被着してラビング処理したり、斜方蒸着膜を形成してなるものであって、図1に矢印XとYで示す一軸配向処理方向が互いに略平行となるように配置されている。

【0034】ここで、ラビング処理は、配向性を与える

ためにポリイミド膜の表面を擦って微細なひっかき傷やかすり傷を付ける手法である。基板 1、2 は互いに一軸配向処理方向が擦った方向まで同一の平行（以下、平行と称する。）となるように配置してもよいし、擦った方向は逆の平行（以下、アンチ平行と称する。）となるように配置してもよい。前者の場合、基板 1 のラビング方向 X_1 に対して基板 2 のラビング方向 Y_1 となり、後者の場合、基板 1 のラビング方向 X_1 に対して基板 2 のラビング方向 Y_2 となる。

【0035】上述したように、上下基板 1、2 に一軸配向処理を施し、その配向方向が互いに略平行となるように配置した液晶セルに、SmC* を有する液晶材料が充填される。充填された液晶は一般にカイラルネマチック(N*) 相のような秩序性の低い相から SmC* 相に変換されるときに、層構造とスメクチックコーンが形成される。この状態において、すでに知られているように、液晶分子がスメクチック層の法線から角度 θ だけ傾いた領域と液晶分子がスメクチック層の法線から角度 $-\theta$ だけ傾いた領域が共に存在し、双安定性を示す。

【0036】この液晶にゴールドストーンモード集団揺動を誘発する電界を相転移中に印加すると、強誘電性液晶分子がスメクチックコーン上で θ と $-\theta$ に交互にスイッチし始め、このスイッチング運動が双安定状態の安定化を妨げる。さらに、時間平均の分子方向がラビング処理面の一軸配向方向の影響により相転移中にラビング方向に一致するようになる。これにより、電界処理終了後は、各層の法線のあるいはその基板への投影成分の方向が配向処理方向と一致する。ここで、図 2 に示すように、各層の液晶分子 3 はコーンの外周面に沿って回転するが、この液晶分子が描くコーンの軸方向 Z（あるいはその基板への投影成分の方向）も同様に前述した配向処理方向と一致する。すなわち、各液晶分子 3 はコーンの円周上の点 r または s の位置で安定する。

【0037】したがって、本実施の形態は基板表面上の液晶分子の安定化効果を利用したものであるが、双安定でもなく、双安定の片側だけで安定化する片安定でもなく、その中間の状態が安定化する単安定を示す。この実施の形態では、印加電界の周波数は重要で、特にゴールドストーンモード揺動の周波数範囲に設定される。また電界強度は、ゴールドストーンモード揺動を完全に抑えることのないよう設定される。このような印加電界により、単安定構造が形成される。この単安定構造においては、液晶ダイレクタ（液晶分子軸）の基板への投影成分およびコーン軸が一軸配向処理方向に揃っており、液晶分子が単安定状態にある。

【0038】例えば、液晶材料として前述したフェニルピリミジン系液晶を混合した液晶組成物を用いた場合、カイラルネマチック相の温度で 60 Hz、20 V 以下の三角波の電界を印加し、その電界印加状態のまま SmC* 相まで冷却することで、液晶材料の双安定状態は単

安定状態に変換される。この状態で、一対の偏光子すなわちアナライザとポーライザのそれぞれの偏光方向 A、P を直交させたまま、いずれか一方の偏光方向を上記配向処理方向と一致させると、光は透過せず黒レベルが得られる。

【0039】これに対して駆動パルスを印加すると、液晶分子のダイレクタはコーンに沿って回転し、パルスの強度や極性によって右または左にアナログ的に連続的にチルトすることになり、これによって連続階調いわゆるアナログ階調が得られる。印加するパルスの駆動電圧波形は任意であるが、+、- 交互の印加であって、電気的中性条件をほぼ満足した振幅変調型であることが好ましい。

【0040】駆動パルスを印加したときの図 1 の a、b、c の方向から見た液晶分子の挙動をそれぞれ図 3、4、5 に示す。これらの図において、基板 1、2 は、ガラス板 1 a、2 a と、その上に成膜された透明電極 1 b、2 b およびラビング処理層である配向膜 1 c、2 c とで構成されている。

【0041】駆動パルスを印加したときの図 1 の a、b、c の方向から見た液晶分子の挙動をそれぞれ図 3、4、5 に示す。これらの図において、基板 1、2 は、ガラス板 1 a、2 a と、その上に成膜された透明電極 1 b、2 b およびラビング処理された配向膜 1 c、2 c とで構成されている。また、シェブロン型および傾斜ブックシェルフ型のそれぞれの液晶分子の配列状態を概略的に図 6 (a)、(b) に示す。

【0042】駆動パルスを印加すると、各液晶分子 3 のダイレクタの方向 D は基板 1、2 上のラビング処理された配向膜 1 c、2 c の一軸配向処理方向に揃う。すなわち、図 3 中央に示すように、液晶分子 3 のダイレクタの方向 D はコーンの投影面の中心に位置する。この状態が単安定状態であり、ポーライザの偏光方向 P を配向処理方向 X、Y に一致させ、アナライザの偏光方向 A をこれと直交させると、光は透過せずに暗状態となる。

【0043】一方、例えば上方の基板 1 の透明電極 1 b に +、下方の基板 2 の透明電極 2 b に - の電界のパルスを印加すると、液晶分子 3 は反時計回りに回転する。この回転方向は、液晶材料の自発分極の極性に依存する。このとき、分子がラビング処理層である配向膜 1 c、2 c との界面から離れるに従って見掛けのチルト角 θ_{app} は大きくなるが、これはラビング処理層との界面では相互作用が大きくアンカー効果が働くためと考えられる。このとき、ポーライザからの直線偏光は、液晶分子 3 のダイレクタのチルトにより位相差を生じて楕円偏光となるため、アナライザからの透過光量は θ_{app} に応じて増加する。すなわち、液晶セルの透過光の強度 I は、次式に示すように、電界強度に応じて連続的に変化する見掛けのチルト角 θ_{app} に対応して変化する。

【0044】

【数1】

$$I = I_0 \sin^2 (2\theta_{app}) \quad \dots\dots (1)$$

式中 I_0 はセルを透過する前の光の強度である。

【0045】これから、電界強度を変化させることで連続アナログ階調が可能となることがわかる。パルス印加の状態から外部電界のパルスを除去すると、界面の安定化効果および液晶の内部電界により、ただちに初期状態に戻る。

【0046】上記した本実施の形態の液晶表示素子は、SmC*相のピッチが長くても原理的に動作可能であり、したがって液晶材料の配向が容易である。

【0047】図7および図8は、本発明の第2の実施の形態の液晶表示素子を示すもので、図7に断面図を、図8に上から見た模式図を示す。セルを構成する上方基板1および下方基板2として、2枚のガラス板1a、2aの一方の面にITO等の透明電極1b、2bが成膜されている。透明電極1b、2bの上に形成される均質な配向膜1c、2cには、基板間のSmC*相の液晶分子を交差角 α の二等分線の方に配向させるために、セルとして見たとき互いに角度 α で交差するような方向に配向処理が施されている。基板1、2の他方の面には直線偏光する偏光子、ポーラライザ4とアナライザ5が配置される。電界ゼロでは、ポーラライザ4の偏光方向は液晶の交差角 α の二等分線の方角6（図8）に平行であり、アナライザ5の偏光方向は二等分線の方角6に垂直である。

【0048】このような他の処理なしでカイラルスメクチック相まで冷却された強誘電性液晶素子においては、図8に示すように、それぞれの基板の互いに交差する一軸配向方向7、8が表面効果の対称性の破れを誘導し、スメクチック層9の法線方向が不規則な形態となることを防ぐ。これにより、層の法線方向を所定の方角、すなわち交差角 α の二等分線の方角6に平行に制御可能となり、電界のない状態で強誘電性液晶の様な単安定状態を得ることができる。このとき、液晶分子3によって描かれるスメクチックコーン10の軸方向の基板への投影成分および液晶分子3自身の軸方向の基板への投影成分は、2つのラビング処理層である配向膜1c、2cの間の交差角 α の二等分線の方角6に同一とされ、この状態が初期状態として単安定化される。

【0049】セルの電極1b、2bには信号電源11が接続されており、印加電圧がないときは、液晶は2つの配向膜1c、2cのラビング処理方向間の交差角 α の二等分線の方に沿って一様に配向した単安定構造を示している。電圧が印加されると、液晶分子3がコーン10に沿って回転し、基板表面に見える所定の方角6からの見掛けのチルト角 θ_{app} が印加電界の強度に応じて連続的に変化する。直交偏光子のもとで透過光の強度はチルト角の増大とともに増大し、連続階調いわゆるアナログ階調が得られる。

【0050】

【実施例】以下、本発明を具体的な実験結果に基づいて説明する。まず、本発明の第1の実施の形態を具体例を挙げて図9～図41を参照しながら説明する。

【0051】第1の実施の形態にかかる液晶セルは次のようにして作成した。透明電極を配したガラス基板にポリイミド膜を被着し、ラビング処理した。この基板と同様に作成したもう1枚の基板をラビング方向が互いに平行となるように配置し、セルギャップを $1.4\mu\text{m}$ とした。セルはクリスタルローテーション法で $1^\circ \sim 2^\circ$ 以下のプレチルト角を示した。

【0052】強誘電性液晶材料として、 25°C にてチルト角が 43° 、自発分極 P_s が $72.7\text{nC}/\text{cm}^2$ の組成物A（CS2005、チッソ製）、 25°C にてチルト角が 30° 、自発分極 P_s が $40.8\text{nC}/\text{cm}^2$ の組成物B（CS2003、チッソ製）、 25°C にてチルト角が 31.5° 、自発分極 P_s が $21.4\text{nC}/\text{cm}^2$ の組成物C（CS2002、チッソ製）を用いた。これらの液晶材料は次のような相転移挙動を示す。

組成物A：Iso（ 73.3°C ）-N*（ 65.1°C ）-SmC*（ -19°C ）-結晶

組成物B：Iso（ 91.0°C ）-N*（ 64.1°C ）-SmC*（ -14°C ）-結晶

組成物C：Iso（ 94.5°C ）-N*（ 69.8°C ）-SmC*（ -15°C ）-結晶

上記液晶材料を等方相（Iso）の状態では液晶セル内に注入し、室温まで徐冷した。

【0053】また、作成した各液晶セルの見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ を測定するにあたっては、次のような方法を用いた。すなわち、直交するニコル偏光子の間にサンドイッチした液晶セルに一方の極性の単パルスを印加して、偏光子に対して液晶セルを水平方向に回転して光の消える第1の消光点を求め、つぎに液晶セルに逆の極性の単パルスを印加して、偏光子に対して液晶セルを回転して光の消える第2の消光点を求めて、第1と第2の消光点間の回転角度を見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ として測定するものである。

【0054】実験例1-1（比較例1-1）

基板をアンチパラレル（ラビング方向が互いに逆向きで平行）に配したセルに、室温でコーン角 86° を示す双安定強誘電性液晶の組成物Aを充填し、等方相から電界印加の処理なしで $-5^\circ\text{C}/\text{分}$ の速度で徐冷した。得られた液晶セル（以下、試料セルAという。）の液晶構造を観察したところ、SmC*相の中に層構造を乱す配向欠陥が多く認められた。このような配向欠陥は、SmC*相への相転移中のスメクチック層およびスメクチックコーンの形成が急峻なためと考えられる。試料セルAを互いに直交させたニコル偏光子でサンドイッチして光電子増倍管で光透過率を測定した。以後の実験はすべて 25°C で行った。試料セルAの印加電圧（電界）に対する光

透過率の $V-T_r$ 曲線を図 9 に示す。この実験では、印加電界に 1 Hz の三角波形を用いた。便宜上、最大光透過率を 100% として光透過率を正規化している。この $V-T_r$ 曲線は明らかに非対称でヒステリシスであり、典型的な双安定強誘電性スイッチングを示している。この状態のもとでは、非常に不規則な双安定構造が見られた。

【0055】液晶組成物 A のゴールドストーンモードの情報を得るために、図 10 (a)、(b) に示すように、複素誘電率の実数部と虚数部を振幅 0.05 V の周波数の関数として測定した。測定した複素誘電率は、ゴールドストーンモードおよびソフトモードの周波数範囲がそれぞれ約 10 KHz 以下および約 100 KHz 以下にあることを示した。これにより、液晶組成物 A に対する電界処理用の印加電界の周波数と振幅を、60 Hz、5 V と決定する。

【0056】実験例 1-2 (実施例 1-1)

単安定性を利用したアナログ階調表示素子を得るために、試料セル A と同じ構成の液晶セルを別に用意し、カイラルネマチック相の温度で 60 Hz、5 V の三角波形の交番電界を印加し、電界印加のもとでカイラルスメクチック C 相にまで冷却して試料セル B を作成した。この試料セル B について、双安定構造から単安定構造への変換効果を調べた。

【0057】試料セル B の液晶は、電界ゼロでの分子方向がラビング方向および相転移温度以下の SmC^* 相での層の法線方向に平行に配向した、一様な単安定を示した。電界処理後に非常に均一な単安定構造が形成されたことは明らかである。試料セル B の印加電圧 (電界) に対する光透過率の $V-T_r$ 曲線を図 11 に示す。便宜上、光透過率は最大光透過率を 100% としている。この $V-T_r$ 曲線から、光透過率が印加電圧の増大とともに増大しており、階調表示が達成されたことがわかる。また、印加電圧を連続的に振幅変調することによってアナログ階調も達成することができた。このように単安定構造に転換された液晶で、150 のコントラスト比が達成された。

【0058】また、試料セル B について、有効コーン角 (見掛けのコーン角) の印加電界強度に対する依存性を観察した。その結果を図 12 に示す。この図に示すように、印加電界とともに有効コーン角も 0° から約 90° まで連続的に大きくなっている。最大コーン角が約 90° であったことは注目される。 90° は前述した光透過率の関係式 (1) 式において、最適条件での光透過率 100% の明るさを得るための理想的コーン角である。

【0059】図 13 に示すように、試料セル B の応答時間を印加電界強度の関数として観察した。この図において、 $0 \rightarrow F$ は 0 電界状態からフェロ (ferro) 状態への立ち上がり応答時間を示し、 $F \rightarrow 0$ はフェロ (ferro) 状態から 0 電界状態への立ち下がり応答時間を

示す。この図に示すように、立ち下がり応答時間はほぼ一定であるが、立ち上がり応答時間は印加電界の増大とともに短くなる。5 V で観察された立ち上がり応答時間および立ち下がり応答時間はそれぞれ約 $120 \mu s$ および約 $260 \mu s$ であった。特に電源オフ時の応答速度が速いのは、単安定状態の安定性が極めて高いためと考えられる。これらの応答速度は実用レベルの液晶素子にとってかなり速いものである。

【0060】次に、試料セル B のアナログ階調性を評価用の駆動波形を用いて調べた。この評価用の駆動波形には、印加電圧の電位を変えることで階調性を持たせている。また、液晶材料に対する中性的条件を考慮して印加電圧の極性を交互に変えている。印加するパルス幅は 33.3 ms である。図 14 に駆動波形 (b) と液晶セルにおける応答波形 (a) を示す。図 14 から、試料セル B においては電圧変調により階調が得られることが確認された。したがって、本実施例の液晶セルにおいては、アナログ階調も高速動作も可能なことが明らかである。

【0061】上述したように、本実施例によれば、一對の基板が互いに平行であるが向きが反対の方向にラビング処理されたアンチパラレル液晶セルにおいて、双安定強誘電性液晶素子が効果的に単安定強誘電性液晶素子に変換され、コントラスト比およびアナログ階調の線形性が著しく改善された。

【0062】実験例 1-3 (比較例 1-2)

ポリイミド界面の構造的な因子が単安定に及ぼす効果を明確にするために、液晶セルにおける一對の基板の配向処理方向すなわち平行処理方向の組み合わせを変えてその配向状態の相違を液晶組成物 A について検討した。液晶セルの構成および液晶材料は、配向膜の平行ラビング処理方向の組み合わせが異なる以外は前述と同様にした。すなわち、液晶組成物 A を使用したパラレルセルを試料セル A と同様の方法で作成して試料セル C を得た。

【0063】試料セル C の液晶構造を観察したところ、 SmC^* 相への相転移中のスメクチック層およびスメクチックコーンの急峻な形成による層構造を乱す配向欠陥が、 SmC^* 相の中に多く認められた。実験例 1-1 と同様に電気光学測定を実施した。試料セル C の印加電圧 (電界) に対する光透過率の $V-T_r$ 曲線を図 15 に示す。便宜上、光透過率は最大光透過率を 100% として用いた。この $V-T_r$ 曲線は明らかに非対称でヒステリシスであり、典型的な双安定強誘電性スイッチングを示している。この状態のもとでは、パラレルの組み合わせでも非常に不規則な双安定構造が見られた。以上のことから、パラレルセルでもアンチパラレルセルでも通常の構築方法では双安定状態となる。

【0064】実験例 1-4 (実施例 1-2)

アナログ階調表示素子を得るために、試料セル C と同じ構造の液晶セルを別に用意し、カイラルネマチック相の温度で 60 Hz、5 V の三角波形の交番電界を印加し、

電界印加をのもてカイラルスメクチックC相にまで冷却して試料セルDを作成した。

【0065】試料セルDの液晶も試料セルBと同様に一様な単安定配列を示した。パラレルセルについても電界処理後に非常に均一な単安定構造が形成されたことは明らかである。試料セルDの正規化V-T_r曲線を図16に示す。このV-T_r曲線から、試料セルBと同様に光透過率が印加電圧の増大とともに増大していることがわかる。印加電圧を連続的に振幅変調することによってアナログ階調も達成することができた。このように単安定構造に転換された液晶で、150以上のコントラスト比が達成された。

【0066】また、図17に示すように、試料セルDについて、有効コーン角（見掛けのコーン角）の印加電界強度に対する依存性を観察した。この図に示すように、印加電界を大きくすると、有効コーン角も0°から約90°まで連続的に大きくなる。最大コーン角が90°であったことは注目される。これはアンチパラレルの組み合わせの試料セルBと同じである。

【0067】試料セルDの応答時間を印加電界強度の関数として測定し、その結果を図18に示した。この図において、立ち下がり応答時間はほぼ一定であるが、立ち上がり応答時間は印加電界の増大とともに短くなる。5Vで立ち上がり応答時間および立ち下がり応答時間はそれぞれ約110μsおよび約260μsであった。このような応答時間は試料セルBとほぼ同じである。

【0068】次に、試料セルDのアナログ階調性を評価用の駆動波形を用いて調べた。この評価用の駆動波形には、印加電圧の電位を変えることで階調性を持たせている。図19に駆動波形(b)と液晶セルにおける応答波形(a)を示す。図19から、試料セルDにおいては電圧変調により階調が得られることが確認された。

【0069】ここでも、本発明の液晶セルでアナログ階調および高速動作が可能であることを示している。さらにいえば、アンチパラレルラビング処理セルと同様に、パラレルラビング処理セルにおいても、コントラスト比およびアナログ階調の線形性が著しく改善された。

【0070】上記したパラレルセルの結果をアンチパラレルセルの結果と比較すると、見掛けのコーン角の電界依存性、応答時間およびパルス駆動特性は両者ともほぼ同じである。したがって、第1の実施の形態にかかる電界処理方法はアンチパラレルセルと同様パラレルセルに対して有効であり、単安定性を利用したアナログ階調表示素子を得ることができることは明らかである。

【0071】実験例1-5（比較例1-3）

アンチパラレルのセルに、室温でコーン角60°を示す双安定強誘電性液晶の組成物Bを充填し、等方相から電界印加の処理なしで-5℃/分の速度で徐冷して、試料セルEを作成した。試料セルEの液晶構造を観察したところ、SmC*相の中に層構造を乱す配向欠陥が多く認

められた。このような配向欠陥は、SmC*相への相転移中のスメクチック層およびスメクチックコーンの形成が急峻なためと考えられる。直交させたニコル偏光子で試料セルEをサンドイッチして光電子増倍管で光透過率を測定した。試料セルEの印加電圧（電界）に対する光透過率のV-T_r曲線を図20に示す。この実験では、印加電界に1Hzの三角波形を用いた。このV-T_r曲線は明らかに非対称でヒステリシスであり、典型的な双安定強誘電性スイッチングを示している。この状態のもとでは、非常に不規則な双安定構造が見られた。

【0072】液晶組成物Bのゴールドストーンモードの情報を得るために、図21(a)、(b)に示すように、複素誘電率の実数部と虚数部を振幅0.05Vの周波数の関数として測定した。測定した複素誘電率は、ゴールドストーンモードおよびソフトモードのそれぞれの周波数範囲が約1KHz以下および約100KHz以下にあることを示した。これにより、液晶組成物Bに対する電界処理用の印加電界の周波数と振幅を、60Hz、1Vと決定する。

20 【0073】実験例1-6（実施例1-3）

単安定性を利用したアナログ階調表示素子を得るために、試料セルEと同じ構成のセルを別に用意し、カイラルネマチック相の温度で60Hz、1Vの三角波形の交番電界を印加し、電界印加のもてカイラルスメクチックC相にまで冷却して試料セルFを作成した。ついで、双安定構造から単安定構造への変換効果を調べた。

30 【0074】試料セルFの液晶は、電界ゼロでの分子方向がラビング方向および相転移温度以下のSmC*相での層の法線方向に平行に配向した、一様な単安定配列を示した。電界処理後に非常に均一な単安定構造が形成されたことは明らかである。試料セルFの印加電圧（電界）に対する光透過率のV-T_r曲線を図22に示す。このV-T_r曲線から、光透過率が印加電圧の増大とともに増大しており、階調表示が達成されたことがわかる。また、印加電圧を連続的に振幅変調することによってアナログ階調も達成することができた。このように単安定構造に転換された液晶で、235のコントラスト比が達成された。

40 【0075】また、図23に示すように、試料セルFについて、有効コーン角（見掛けのコーン角）の印加電界強度に対する依存性を観察した。観察した有効コーン角は、図に示すように、印加電界が大きくなるにつれて0°から約61°まで連続的に大きくなっている。

50 【0076】図24に示すように、試料セルFの応答時間を印加電界強度の関数として観察した。この図において、0-Fは0電界状態からフェロ状態への立ち上がり応答時間を示し、F-0はフェロ状態から0電界状態への立ち下がり応答時間を示す。この図に示すように、立ち下がり応答時間はほぼ一定であるが、立ち上がり応答時間は印加電界の増大とともに短くなる。5Vで観察さ

れた立ち上がり応答時間および立ち下がり応答時間はそれぞれ約 $140 \mu s$ および約 $370 \mu s$ であった。特に電源オフ時の応答速度が速いのは、単安定状態の安定性が極めて高いためと考えられる。これらの応答速度は実用レベルの液晶素子にとってかなり速いものである。

【0077】次に、試料セルFのアナログ階調性を評価用の駆動波形を用いて調べた。この評価用の駆動波形には、印加電圧の電位を変えることで階調性を持たせている。また、液晶材料に対する中性的条件を考慮して印加電圧の極性を交互に変えている。図25に駆動波形

(b) と液晶セルにおける応答波形 (a) を示す。図25から、試料セルFにおいては電圧変調により階調が得られることが確認された。

【0078】実験例1-7 (比較例1-4)

ポリイミド界面の構造的な因子が単安定に及ぼす効果を明確にするために、液晶セルにおける一対の基板の配向処理方向すなわち平行処理方向の組み合わせを変えてその配向状態の相違を液晶組成物Bについて検討した。液晶セルの構成および液晶材料は、配向膜の平行ラビング処理方向の組み合わせが異なる以外は比較例1-3と同様にした。すなわち、液晶組成物Bを使用したパラレルセルを試料セルEと同様に作成して試料セルGを得た。

【0079】試料セルGの液晶構造を観察したところ、SmC*相への相転移中のスメクチック層およびスメクチックコーンの急峻な形成による層構造を乱す配向欠陥が、SmC*相の中に多く認められた。実験例1-1と同様に電気光学測定を実施した。試料セルGの印加電圧(電界)に対する光透過率のV-Tr曲線を図26に示す。便宜上、光透過率は最大光透過率を100%とした。このV-Tr曲線は明らかに非対称でヒステリシスであり、典型的な双安定強誘電性スイッチングを示している。この状態のもとでは、パラレルの組み合わせでも非常に不規則な双安定構造が見られた。以上のことから、パラレルセルでもアンチパラレルセルでも通常の構築方法では双安定状態となる。

【0080】実験例1-8 (実施例1-4)

アナログ階調表示素子を得るために、試料セルGと同じ構造のセルを別に用意し、カイラルネマチック相の温度で60Hz、1Vの三角波形の交番電界を印加し、電界印加をもとでカイラルスメクチックC相にまで冷却して試料セルHを得た。

【0081】試料セルHの液晶も試料セルFと同様に一様な単安定配列を示した。パラレルセルについても電界処理後に非常に均一な単安定構造が形成されたことは明らかである。試料セルHの正規化V-Tr曲線を図27に示す。このV-Tr曲線から、試料セルFと同様に光透過率が印加電圧の増大とともに増大していることがわかる。印加電圧を連続的に振幅変調することによってアナログ階調も達成することができた。このように単安定構造に転換された液晶で、198のコントラスト比が達

成された。

【0082】また、図28に示すように、試料セルHについて、有効コーン角(見掛けのコーン角)の印加電界強度に対する依存性を観察した。この図に示すように、印加電界とともに有効コーン角も 0° から約 61° まで連続的に大きくなっている。

【0083】図29に示すように、試料セルHの応答時間を印加電界強度の関数として観察した。この図において、立ち下がり応答時間はほぼ一定であるが、立ち上がり応答時間は印加電界の増大とともに短くなる。5Vで観察された立ち上がり応答時間および立ち下がり応答時間はそれぞれ約 $210 \mu s$ および約 $1260 \mu s$ であった。この応答時間の値は、層構造に関係すると思われる立ち下がり時間を除いて試料セルFとほぼ同じである。

【0084】次に、試料セルHのアナログ階調性を評価用の駆動波形を用いて調べた。この評価用の駆動波形には、印加電圧の電位を変えることで階調性を持たせている。図30に駆動波形(b)と液晶セルにおける応答波形(a)を示す。図30から、試料セルHにおいては電圧変調により階調が得られることが確認された。

【0085】実験例1-9 (比較例1-5)

アンチパラレルのセルに、室温でコーン角 63° を示す双安定強誘電性液晶の組成物Cを充填し、等方相から電界印加の処理なしで $-5^\circ C/分$ の速度で徐冷して、試料セルIを得た。試料セルIの液晶構造を観察したところ、SmC*相の中に層構造を乱す配向欠陥が多く認められた。このような配向欠陥は、SmC*相への相転移中のスメクチック層およびスメクチックコーンの形成が急峻なためと考えられる。直交させたニコル偏光子で試料セルIをサンドイッチして光電子増倍管で光透過率を測定した。試料セルIの印加電圧(電界)に対する光透過率のV-Tr曲線を図31に示す。この実験では、印加電界に1Hzの三角波形を用いた。このV-Tr曲線は明らかに非対称でヒステリシスであり、典型的な双安定強誘電性スイッチングを示している。この状態のもとでは、非常に不規則な双安定構造が見られた。

【0086】液晶組成物Cのゴールドストーンモードの情報を得るために、図32(a)、(b)に示すように、複素誘電率の実数部と虚数部を振幅0.05Vの周波数との関数として測定した。測定した複素誘電率は、ゴールドストーンモードおよびソフトモードのそれぞれの周波数範囲が約1KHz以下および約100KHz以下にあることを示した。これにより、液晶組成物Cに対する電界処理用の印加電界の周波数と振幅を、60Hz、1Vと決定する。

【0087】実験例1-10 (実施例1-5)

単安定性を利用したアナログ階調表示素子を得るために、試料セルIと同じ構成のセルを別に用意し、カイラルネマチック相の温度で60Hz、1Vの三角波形の交番電界を印加し、電界印加をもとでカイラルスメクチック

クC相にまで冷却して試料セルJを作成した。ついで、
 双安定構造から単安定構造への変換効果を調べた。

【0088】試料セルJの液晶は、電界ゼロでの分子方向がラビング方向および相転移温度以下のSmC*相での層の法線方向に平行に配向した、一様な単安定配列を示した。電界処理後に非常に均一な単安定構造が形成されたことは明らかである。試料セルJの印加電圧（電界）に対する光透過率のV-T_r曲線を図33に示す。このV-T_r曲線から、光透過率が印加電圧の増大とともに増大しており、階調表示が達成されたことがわかる。また、印加電圧を連続的に振幅変調することによってアナログ階調も達成することができた。このように単安定構造に転換された液晶で、141のコントラスト比が達成された。

【0089】また、図34に示すように、試料セルJについて、有効コーン角（見掛けのコーン角）の印加電界強度に対する依存性を観察した。観察した有効コーン角は、図に示すように、印加電界が大きくなるにつれて0°から約60°まで連続的に大きくなっている。

【0090】図35に示すように、試料セルJの応答時間を印加電界強度の関数として観察した。この図において、0→Fは0電界状態からフェロ状態への立ち上がり応答時間を示し、F→0はフェロ状態から0電界状態への立ち下がり応答時間を示す。この図に示すように、立ち下がり応答時間はほぼ一定であるが、立ち上がり応答時間は印加電界の増大とともに短くなる。5Vで観察された立ち上がり応答時間および立ち下がり応答時間はそれぞれ約280μsおよび約750μsであった。特に電源オフ時の応答速度が速いのは、単安定状態の安定性が極めて高いためと考えられる。これらの応答速度は実用レベルの液晶素子にとってかなり速いものである。

【0091】次に、試料セルJのアナログ階調性を評価用の駆動波形を用いて調べた。この評価用の駆動波形には、印加電圧の電位を変えることで階調性を持たせている。また、液晶材料に対する中性的条件を考慮して印加電圧の極性を交互に変えている。図36に駆動波形

(b)と液晶セルにおける応答波形(a)を示す。図36から、試料セルJにおいては電圧変調により階調が得られることが確認された。

【0092】実験例1-11（比較例1-6）

ポリイミド界面の構造的な因子が単安定に及ぼす効果を明確にするために、液晶セルにおける一対の基板の配向処理方向すなわち平行処理方向の組み合わせを変えてその配向状態の相違を液晶組成物Cについて検討した。液晶セルの構成および液晶材料は、配向膜の平行ラビング処理方向の組み合わせが異なる以外は比較例1-5と同様にした。すなわち、液晶組成物Cを使用した平行セルを試料セルIと同様に作成して試料セルKを得た。

【0093】試料セルKの液晶構造を観察したところ、SmC*相への相転移中のスメクチック層およびスメク

チックコーンの急峻な形成による層構造を乱す配向欠陥が、SmC*相の中に多く認められた。実験例1-1と同様に電気光学測定を実施した。試料セルKの印加電圧（電界）に対する光透過率のV-T_r曲線を図37に示す。このV-T_r曲線は明らかに非対称でヒステリシスであり、典型的な双安定強誘電性スイッチングを示している。この状態のもとでは、平行の組み合わせでも非常に不規則な双安定構造が見られた。以上のことから、平行セルでもアンチ平行セルでも通常の構築方法は双安定状態に適しているといえる。

【0094】実験例1-12（実施例1-6）

アナログ階調表示素子を得るために、試料セルKと同じ構造のセルを別に用意し、カイラルネマチック相の温度で60Hz、1Vの三角波形の交番電界を印加し、電界印加をのもてカイラルスメクチックC相にまで冷却して試料セルLを作成した。

【0095】試料セルLの液晶も試料セルJと同様に一様な単安定配列を示した。平行セルについても電界処理後に非常に均一な単安定構造が形成されたことは明らかである。セルLの正規化V-T_r曲線を図38に示す。このV-T_r曲線から、試料セルJと同様に光透過率が印加電圧の増大とともに増大していることがわかる。印加電圧を連続的に振幅変調することによってアナログ階調も達成することができた。このように単安定構造に転換された液晶で、122のコントラスト比が達成された。

【0096】また、図39に示すように、試料セルLについて、有効コーン角（見掛けのコーン角）の印加電界強度に対する依存性を観察した。この図に示すように、印加電界とともに有効コーン角も0°から約60°まで連続的に大きくなっている。

【0097】図40に示すように、試料セルLの応答時間を印加電界強度の関数として観察した。この図において、立ち下がり応答時間はほぼ一定であるが、立ち上がり応答時間は印加電界の増大とともに速くなる。5Vで観察された立ち上がり応答時間および立ち下がり応答時間はそれぞれ約350μsおよび約930μsであった。この応答時間の値は、層構造に関係すると思われる立ち下がり時間を除いて試料セルJとほぼ同じである。

【0098】次に、試料セルLのアナログ階調性を評価用の駆動波形を用いて調べた。この評価用の駆動波形には、印加電圧の電位を変えることで階調性を持たせている。図41に駆動波形(b)と液晶セルにおける応答波形(a)を示す。図41から、試料セルLにおいては電圧変調により階調が得られることが確認された。

【0099】上記実施例1-1～実施例1-6からも明らかに、本発明の第1の実施の形態においては、単安定強誘電性液晶セルを用いてアナログ階調表示および高速動作が可能な液晶表示素子を得ることができる。また、見掛けのコーン角、応答時間およびパルス駆動特

性等の電界依存性はパラレルセルもアンチパラレルセルもほとんど同じである。本実施の形態にかかる電界処理はパラレルセルに対してもアンチパラレルセルに対しても単安定強誘電性液晶素子を得るために有効である。さらに、本実施の形態によれば、双安定強誘電性液晶素子を単安定強誘電性液晶素子に効果的に変換することができ、コントラスト比およびアナログ階調性等を著しく改善することができる。

【0100】次に本発明の第2の実施の形態を具体例を挙げて図42～図53を参照しながら説明する。本実施の形態にかかる液晶セルは以下のようにして作成した。透明電極が形成されたガラス基板にA1またはA2のポリイミド膜を被着し、ラビング処理した。同様に処理した2枚の基板を、1.4～2μmのセルギャップを設けて、それぞれのラビング方向が角度αで交差するように配置した。A1のポリイミド膜を被着したセルは1°～2°のプレチルト角を示し、A2のポリイミド膜を被着したセルは3°～4°のプレチルト角を示した。

【0101】セルのラビング条件に関しては、アンチパラレルにラビング方向を組み合わせたアンチパラレルセルとクロスにラビング方向を組み合わせたクロスラビングセルを製作した。クロスラビングセルとしては、図42に示すように、4種の組み合わせCR1、CR2、CR3、CR4が考えられる。これらのクロスラビング組み合わせは、ラビング方向に関して上方の基板に対して下方の基板を半時計回りに回転したものがCR1とCR2、時計回りに回転したものがCR3とCR4、またラビング方向の向きが互いに同じパラレルに類似したものがCR1とCR3、向きが互いに逆のアンチパラレルに類似したものがCR2とCR4である。

【0102】クロスラビングセルの上下基板のラビング方向間の交差角αが良好な単安定状態を得るためのパラメータと考えられる。図42に示すように、ラビング方向間の交差角αが0になると、CR1とCR3はパラレルセルに、CR2とCR4はアンチパラレルセルになる。ラビング方向間の交差角αを変えることによって、液晶の掌性がクロスラビングの掌性に一致する良好なラビング条件を見つけることができ、単安定状態における所望のスメクチック層の形成をコントロールすることができる。

【0103】強誘電性液晶材料として25℃にてチルト角が30°、自発分極Psが40.8nC/cm²の組成物(CS2003、チソ製)を用いた。この液晶組成物は、

Is o - (91.0℃) - N* - (64.1℃) - SmC* - (-14℃) - 結晶

の相転移挙動を示す。この液晶組成物を等方相(Is o)の状態では液晶セルに注入し、-0.5℃/分の速度で徐冷した。

【0104】作成した液晶セルについては、直交した偏

光子のもとで電界を印加し、電界強度による透過光の変化を観察した。すべての実験は25℃で行い、電気光学的測定に対して544nmの緑色光源を用いた。これにより、液晶セル構造の潜在的効果および液晶材料の物理的性質について検討した。

【0105】実験例2-1(比較例2-1)

クロスラビングの効果を検討する前に、液晶組成物の単安定性についてアンチパラレルセル構造で調べた。試料セルとしては、配向膜にA1を用い、ラビング方向の組み合わせを角度αが0のアンチパラレルとし、液晶組成物にCS2003を用いた。すなわち、A1の配向膜を設けた一対の基板に互いに平行でかつ処理方向が反対となるようにラビング処理を施したアンチパラレルセルに、CS2003の強誘電性液晶組成物を充填して試料セルMを作成した。試料セルMの液晶配列を観察したところ、SmC*相中に層構造の秩序を乱すマルチドメイン欠陥が多く検出された。このような配向欠陥は、カイラルネマチック相からSmC*相に転移する時にスメクチック層およびスメクチックコーンが急峻に形成されるためと考えられる。

【0106】試料セルMの電気光学的(E-O)応答性を観察するために、図43に示すような波形の電界を印加した。この印加波形に示すように、駆動用に交番対称パルスを用いた。試料セルMは、図43に示すような駆動波形に対して、図44に示すような光透過率の応答波形を示した。便宜上、光透過率は最大光透過率を100%として正規化している。この図に示すように、光透過率は電界が0のときは最小となるが、電界が正のときは負のときより明らかに大きくなっており、非対称のスイッチングを示すことは明らかである。この非対称のE-O応答性から、層の法線方向がラビング方向からチルトしていることがわかる。この試料セルMでは、E-O応答性が非対称となるとともに、アナログ階調制御が困難となる。

【0107】上記試料セルMのE-O応答性の実験において、5Vでの立ち上がり応答時間τ_{on}および立ち下がり応答時間τ_{off}、見掛けのコーン角2θ_{app}について、それぞれτ_{on}=285μs、τ_{off}=385μs、2θ_{app}=60.3°という値が測定された。

【0108】実験例2-2(実施例2-1)

この実験に用いた試料セルは、ラビング方向の組み合わせを角度αが20°のクロスラビングCR1とし、液晶組成物にCS2003、配向膜にA1を用いた。CR1のクロスラビングセルに液晶材料を充填し、等方相から-0.5℃/分の割合で他の処理なしで徐冷し、試料セルNを作成した。試料セルNの液晶配列の観察結果は、0電界での分子方向および層の法線方向が25℃の室温で二等分線の方向に平行となった単安定構造を示した。

【0109】図45は、図43に示す駆動波形に対する試料セルNの応答波形を示すTr曲線である。便宜上、

光透過率は最大光透過率を100%として正規化している。図に示すように、正の電界での透過光の強度と負の電界での透過光の強度は同じである。これは層の法線方向が二等分線の方向に一致していることを示している。この対称的なE-O応答性から、0電界で暗状態で、本実施の形態にかかるクロスラビングの方法により層の回転を制御できることがわかる。さらに、この液晶セルにおいては電圧変調により階調表示が可能であることが確認された。

【0110】この試料セルNの実験で測定された5Vでの立ち上がり応答時間 τ_{on} および立ち下がり応答時間 τ_{off} 、見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ は、それぞれ $\tau_{on}=156\mu s$ 、 $\tau_{off}=543\mu s$ 、 $2\theta_{app}=63.5^\circ$ であった。

【0111】アンチパラレルセルの試料セルMの測定結果と比較しても、クロスラビング方法を用いることにより、アナログ階調性を有する単安定強誘電性液晶状態を達成できることが確認できた。

【0112】実験例2-3（実施例2-2）

この実験では、試料セルのラビング方向の組み合わせを角度 α が 20° のクロスラビングCR2とし、液晶組成物にCS2003、配向膜にA1を用いた。CR2のクロスラビングセルに液晶材料を充填し、等方相から $-0.5^\circ C/分$ の割合で他の処理なしで徐冷し、試料セルOを作成した。試料セルOの液晶配列の観察結果は、0電界での分子方向および層の法線方向が $25^\circ C$ の室温で二等分線の方向に平行となった単安定構造を示した。

【0113】図46は、図43に示す電界印加による試料セルOの光透過率の変化を示す正規化Tr曲線である。図に示すように、正の電界での透過光の強度と負の電界での透過光の強度は同じである。これは層の法線方向が二等分線の方向に一致していることを示している。この対称的なE-O応答性から、0電界で暗状態で、クロスラビング方法により層の回転を制御できることがわかる。さらに、この液晶セルにおいては電圧変調により階調表示が可能であることが確認された。

【0114】この試料セルOの実験で測定された5Vでの立ち上がり応答時間 τ_{on} および立ち下がり応答時間 τ_{off} 、見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ は、それぞれ $\tau_{on}=267\mu s$ 、 $\tau_{off}=758\mu s$ 、 $2\theta_{app}=63.5^\circ$ であった。

【0115】アンチパラレルセルの試料セルMの測定結果と比較しても、クロスラビング方法を用いることにより、アナログ階調性を有する単安定強誘電性液晶状態を達成できることが確認できた。

【0116】実験例2-4（実施例2-3）

この実験では、液晶組成物にCS2003、配向膜にA1を用い、試料セルのラビング方向の組み合わせを角度 α が 20° のクロスラビングCR3とした。CR3のクロスラビングセルに液晶材料を充填し、等方相から $-$

$0.5^\circ C/分$ の割合で他の処理なしで徐冷し、試料セルPを作成した。試料セルPの液晶配列の観察結果は、0電界での分子方向および層の法線方向が $25^\circ C$ の室温で二等分線の方向に平行となった単安定構造を示した。

【0117】図47は、図43に示す電界印加による試料セルPの光透過率の変化を示す正規化Tr曲線である。図に示すように、正の電界での透過光の強度と負の電界での透過光の強度は同じである。これはスメクチック層の法線方向が二等分線の方向とほぼ同じであることを示している。アンチパラレルの試料セルMと比較しても、0電界で暗状態で、クロスラビング方法により層の回転を制御できることがわかる。これにより、CR3のクロスラビングセルにおいても、層形成の対称性が改善されることが確認できた。

【0118】この試料セルPの実験で測定された5Vでの立ち上がり応答時間 τ_{on} および立ち下がり応答時間 τ_{off} 、見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ は、それぞれ $\tau_{on}=241\mu s$ 、 $\tau_{off}=691\mu s$ 、 $2\theta_{app}=62.5^\circ$ であった。

【0119】実験例2-5（実施例2-4）

この実験では、液晶組成物にCS2003、配向膜にA1を用い、試料セルのラビング方向の組み合わせを角度 α が 20° のクロスラビングCR4とした。CR4のクロスラビングセルに液晶材料を充填し、等方相から $-0.5^\circ C/分$ の割合で他の処理なしで徐冷し、試料セルQを作製した。試料セルQの液晶配列の観察結果は、0電界での分子方向および層の法線方向が $25^\circ C$ の室温で二等分線の方向に平行となった単安定構造を示した。

【0120】図48は、図43に示す電界印加による試料セルQの光透過率の変化を示す正規化Tr曲線である。図に示すように、正の電界での透過光の強度と負の電界での透過光の強度は同じである。これはスメクチック層の法線方向が二等分線の方向になっていることを示している。この対称的なE-O応答性から、0電界で暗状態で、クロスラビングの方法により層の回転を制御できることがわかる。これにより、CR4のクロスラビングセルが層を対称に形成することが確認された。

【0121】この試料セルQの実験で測定された5Vでの立ち上がり応答時間 τ_{on} および立ち下がり応答時間 τ_{off} 、見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ は、それぞれ $\tau_{on}=208\mu s$ 、 $\tau_{off}=641\mu s$ 、 $2\theta_{app}=62.5^\circ$ であった。

【0122】実験例2-6（比較例2-2）

A2の配向膜についてクロスラビングの効果を検討する前に、アンチパラレルセル構造において液晶組成物の単安定性を調べた。配向膜にA2を用い、ラビング方向の組み合わせを角度 α が0のアンチパラレルとし、液晶組成物にCS2003を用いて、試料セルRを作成した。試料セルRの液晶配列を観察したところ、SmC*相中に層構造の秩序を乱すマルチドメイン欠陥が多く検出さ

れた。このような配向欠陥は、カイラルネマチック相から SmC* 相に転移する時にスメクチック層およびスメクチックコーンが急峻に形成されるためと考えられる。

【0123】試料セル R の正規化 T_r 曲線は、図 43 に示す電界印加によって図 49 に示すような依存性を示した。図に示すように、正電界での光透過率と負電界での光透過率は明らかに異なっており、非対称のスイッチングを示していることは明かである。この非対称の E-O 応答性から、層の法線方向がラビング方向からチルトしていることがわかる。この試料セル R では、E-O 応答性が非対称となるとともに、アナログ階調制御が困難となる。すなわち、アンチパラレルセルは非対称の層形成を示すことがわかる

【0124】この実験において、試料セル M の 5 V での立ち上がり応答時間 τ_{on} および立ち下がり応答時間 τ_{off} 、見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ は、それぞれ $\tau_{on} = 97 \mu s$ 、 $\tau_{off} = 1355 \mu s$ 、 $2\theta_{app} = 61.5^\circ$ という結果であった。

【0125】実験例 2-7 (実施例 2-5)

この実験に用いた試料セルは、ラビング方向の組み合わせを角度 α が 10° のクロスラビング CR1 とし、液晶組成物に CS2003、配向膜に A2 を用いた。CR1 のクロスラビングセルに液晶材料を充填し、等方相から $-0.5^\circ C/分$ の割合で他の処理なしで徐冷し、試料セル S を作製した。試料セル S の液晶配列の観察結果は、0 電界での分子方向および層の法線方向が $25^\circ C$ の室温で二等分線の方向に平行となった単安定構造を示した。

【0126】図 50 は、試料セル S の電界印加による正規化 T_r 曲線を示すものである。図に示すように、正の電界での透過光の強度と負の電界での透過光の強度は同じである。これは層の法線方向が二等分線の方向に向いていることを示している。この対称的な E-O 応答性から、0 電界で暗状態で、クロスラビング方法により層の回転を制御できることがわかる。これにより、CR1 のクロスラビングセルの層形成は対称性を示すことが確認できる。

【0127】この試料セル S の実験で測定された 5 V での立ち上がり応答時間 τ_{on} および立ち下がり応答時間 τ_{off} 、見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ は、それぞれ $\tau_{on} = 346 \mu s$ 、 $\tau_{off} = 1115 \mu s$ 、 $2\theta_{app} = 60.0^\circ$ であった。

【0128】アンチパラレルセルの試料セル R の測定結果と比較しても、クロスラビング方法を用いることにより、アナログ階調性を有する単安定強誘電性液晶状態を達成できることが確認できた。

【0129】実験例 2-8 (実施例 2-6)

この実験に用いた試料セルは、ラビング方向の組み合わせを角度 α が 10° のクロスラビング CR2 とし、液晶組成物に CS2003、配向膜に A2 を用いた。CR2 のクロスラビングセルに液晶材料を充填し、等方相から

$-0.5^\circ C/分$ の割合で他の処理なしで徐冷し、試料セル T を作成した。試料セル T の液晶配列の観察結果は、0 電界での分子方向および層の法線方向が $25^\circ C$ の室温で二等分線の方向に平行となった単安定構造を示した。

【0130】図 51 は、図 43 に示す電界印加による試料セル T の正規化 T_r 曲線を示すものである。図に示すように、正の電界での透過光の強度と負の電界での透過光の強度は同じである。これは層の法線方向が二等分線の方向に向いていることを示している。この対称的な E-O 応答性から、0 電界で暗状態で、クロスラビング方法により層の回転を制御できることがわかる。これにより、CR2 のクロスラビングセルの層形成は対称性を示すことが確認できる。

【0131】この試料セル T の実験で測定された 5 V での立ち上がり応答時間 τ_{on} および立ち下がり応答時間 τ_{off} 、見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ は、それぞれ $\tau_{on} = 219 \mu s$ 、 $\tau_{off} = 661 \mu s$ 、 $2\theta_{app} = 59.5^\circ$ であった。

【0132】アンチパラレルセルの試料セル R の測定結果と比較しても、クロスラビング方法を用いることにより、アナログ階調性を有する単安定強誘電性液晶状態を達成できることが確認できた。

【0133】実験例 2-9 (実施例 2-7)

この実験に用いた試料セルは、ラビング方向の組み合わせを角度 α が 10° のクロスラビング CR3 とし、液晶組成物に CS2003、配向膜に A2 を用いた。CR3 のクロスラビングセルに液晶材料を充填し、等方相から $-0.5^\circ C/分$ の割合で他の処理なしで徐冷し、試料セル U を作成した。試料セル U の液晶配列の観察結果は、0 電界での分子方向および層の法線方向が $25^\circ C$ の室温で二等分線の方向に平行となった単安定構造を示した。

【0134】図 52 は、図 43 に示す電界印加による試料セル U の正規化 T_r 曲線を示すものである。図に示すように、正の電界での透過光の強度と負の電界での透過光の強度は同じである。これは層の法線方向が二等分線の方向に向いていることを示している。この対称的な E-O 応答性から、0 電界で暗状態で、クロスラビング方法により層の回転を制御できることがわかる。これにより、CR3 のクロスラビングセルの層構造は対称性を示すことが確認できる。

【0135】この試料セル U の実験で測定された 5 V での立ち上がり応答時間 τ_{on} および立ち下がり応答時間 τ_{off} 、見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ は、それぞれ $\tau_{on} = 254 \mu s$ 、 $\tau_{off} = 520 \mu s$ 、 $2\theta_{app} = 57.5^\circ$ であった。

【0136】アンチパラレルセルの試料セル R の測定結果と比較しても、クロスラビング方法を用いることにより、アナログ階調性を有する単安定強誘電性液晶状態を達成できることが確認できた。

【0137】実験例 2-10 (実施例 2-8)

この実験に用いた試料セルは、ラビング方向の組み合わせを角度 α が 10° のクロスラビングCR4とし、液晶組成物にCS2003、配向膜にA2を用いた。CR4のクロスラビングセルに液晶材料を充填し、等方相から $-0.5^\circ/\text{分}$ の割合で他の処理なしで徐冷し、試料セルVを作成した。試料セルVの液晶配列の観察結果は、0電界での分子方向および層の法線方向が 25° の室温で二等分線の方向に平行となった単安定構造を示した。

【0138】図53は、図43に示す電界印加による試料セルVの正規化Tr曲線を示すものである。この図に示すように、パルスによる電界印加のもとで、正負のパルスでの光透過率の対称性がアンチパラレルセルよりも*

*かなり改善されることが観察された。これにより、層構造もCR4のクロスラビングセルにおいて改善されることが確認できる。

【0139】この試料セルVの実験で測定された5Vでの立ち上がり応答時間 τ_{on} および立ち下がり応答時間 τ_{off} 、見掛けのコーン角 $2\theta_{app}$ は、それぞれ $\tau_{on}=267\mu s$ 、 $\tau_{off}=749\mu s$ 、 $2\theta_{app}=60.0^\circ$ であった。以上の試料セルMからVの試験結果をまとめて表1に示す。

【0140】

【表1】

試料	ラビング 組み合わせ	単安定性	$2\theta_0$	コント ラスト	τ_{on} (μs)	τ_{off} (μs)	ΔT (%)
セルM	アンチ パラレル	悪	60.3°	37	285	385	28.0
セルN	CR1	良	63.5°	24	156	543	0.5
セルO	CR2	良	63.5°	25	267	758	0.2
セルP	CR3	良	62.5°	19	241	691	7.0
セルQ	CR4	良	62.5°	37	208	641	0.2
セルR	アンチ パラレル	悪	61.5°	20	97	1355	36.0
セルS	CR1	良	60.0°	34	346	1115	6.0
セルT	CR2	良	59.5°	30	219	661	0.2
セルU	CR3	良	57.5°	24	254	520	6.0
セルV	CR4	良	60.0°	16	267	749	10.0

【0141】表1に示すように、配向膜にA1を用いたものもA2を用いたものとともに、アンチパラレルセルは非対称のスイッチング挙動を示すが、クロスラビングセルは明らかに良好な単安定性を示している。また、正のパルスを印加したときと負のパルスを印加したときのそれぞれの最大光透過率の差(ΔT)から、電界0の暗状態において層の回転をクロスラビング方法によって制御可能なことがわかる。また、クロスラビングセルのコントラスト比はほぼ20以上を示し、高コントラストデ

バイスを得ることができることも確認された。上記の結果から、本発明の第2の実施の形態にかかるクロスラビング方法を用いることにより、アナログ階調性を有する単安定強誘電性液晶状態および高速応答性を有する高コントラストを達成できることが確認できた。

【0142】上記実施例2-1~2-8からも明らかにように、本発明の第2の実施の形態においては、等方相-カイラルネマチック相-カイラルスメクチックC相と相転移する強誘電性液晶材料を用いて、クロスラビング方法により単安定強誘電性液晶セルを良好に作成するこ

とができる。また、配向膜にクロスラビング処理された単安定強誘電性液晶セルは、高度な明るさを示すとともにアナログ階調性および高速応答性を有する。通常のアンチパラレルセルの試験結果と比較しても、強誘電性液晶材料を良好にスメクチック単安定強誘電性液晶状態に変換することができることは明らかである。クロスラビング方法は、単安定強誘電性液晶素子の製造に有効である。

【0143】

【発明の効果】上記したように、請求項1~8の発明によれば、一対の基板を配向処理方向が互いに略平行となるように対向配置したセルに、充填した液晶材料がカイラルスメクチック相に転移する際、ゴールドストーンモード揺動を誘発する電界を印加することにより、強誘電性液晶を双安定状態から単安定状態に変換することができ、アナログ階調性、高速応答性、高コントラストに優れた単安定強誘電性液晶表示素子を得ることができる。

【0144】また、請求項9~17の発明によれば、一対の基板を配向処理方向が互いに交差するように対向配

置したセルにカイラルスメクチック相を有する液晶材料を充填することにより、強誘電性液晶を双安定状態から単安定状態に変換することができ、アナログ階調性、高速応答性、高コントラストに優れた単安定強誘電性液晶表示素子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態にかかる液晶セルの構造を概略的に示す斜視図である。

【図 2】液晶分子が描くコーンを示す図である。

【図 3】図 1 において a の矢印方向から見た液晶分子の挙動を示す図である。

【図 4】図 1 において b の矢印方向から見た液晶分子の挙動を示す図である。

【図 5】図 1 において c の矢印方向から見た液晶分子の挙動を示す図である。

【図 6】シェブロン構造およびブックシェルフ構造の液晶分子の配列状態を示す概略図である。

【図 7】本発明の第 2 の実施の形態にかかる液晶セルを示す断面図である

【図 8】本発明の第 2 の実施の形態にかかる液晶セルを示す平面図である。

【図 9】試料セル A の印加電圧と光透過率との関係を示す図である。

【図 10】試料セル A の複素誘電率の実数部と虚数部の周波数依存曲線を示す図である。

【図 11】試料セル B の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 12】試料セル B の印加電圧と見掛けのコーン角の関係を示す図である。

【図 13】試料セル B の印加電圧と応答時間の関係を示す図である。

【図 14】試料セル B に印加する駆動波形とそれに対する試料セル B の応答波形を示す図である。

【図 15】試料セル C の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 16】試料セル D の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 17】試料セル D の印加電圧と見掛けのコーン角の関係を示す図である。

【図 18】試料セル D の印加電圧と応答時間の関係を示す図である。

【図 19】試料セル D に印加する駆動波形とそれに対する試料セル D の応答波形を示す図である。

【図 20】試料セル E の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 21】試料セル E の複素誘電率の実数部と虚数部の周波数依存曲線を示す図である。

【図 22】試料セル F の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 23】試料セル F の印加電圧と見掛けのコーン角の

関係を示す図である。

【図 24】試料セル F の印加電圧と応答時間の関係を示す図である。

【図 25】試料セル F に印加する駆動波形とそれに対する試料セル F の応答波形を示す図である。

【図 26】試料セル G の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 27】試料セル H の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 28】試料セル H の印加電圧と見掛けのコーン角の関係を示す図である。

【図 29】試料セル H の印加電圧と応答時間の関係を示す図である。

【図 30】試料セル H に印加する駆動波形とそれに対する試料セル H の応答波形を示す図である。

【図 31】試料セル I の印加電圧と見掛けのコーン角の関係を示す図である。

【図 32】試料セル I の複素誘電率の実数部と虚数部の周波数依存曲線を示す図である。

【図 33】試料セル J の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 34】試料セル J の印加電圧と見掛けのコーン角の関係を示す図である。

【図 35】試料セル J の印加電圧と応答時間の関係を示す図である。

【図 36】試料セル J に印加する駆動波形とそれに対する試料セル J の応答波形を示す図である。

【図 37】試料セル K の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 38】試料セル L の印加電圧と光透過率の関係を示す図である。

【図 39】試料セル L の印加電圧と見掛けのコーン角の関係を示す図である。

【図 40】試料セル L の印加電圧と応答時間との関係を示す図である。

【図 41】試料セル L に印加する駆動波形とそれに対する試料セル L の応答波形を示す図である。

【図 42】クロスラビング方向の組み合わせ例を示す図である。

【図 43】試料セル M～V に印加する駆動波形を示す図である。

【図 44】図 43 に示す駆動波形に対する試料セル M の応答波形を示す図である。

【図 45】図 43 に示す駆動波形に対する試料セル N の応答波形を示す図である。

【図 46】図 43 に示す駆動波形に対する試料セル O の応答波形を示す図である。

【図 47】図 43 に示す駆動波形に対する試料セル P の応答波形を示す図である。

【図 48】図 43 に示す駆動波形に対する試料セル Q の

応答波形を示す図である。

【図49】図43に示す駆動波形に対する試料セルRの応答波形を示す図である。

【図50】図43に示す駆動波形に対する試料セルSの応答波形を示す図である。

【図51】図43に示す駆動波形に対する試料セルTの応答波形を示す図である。

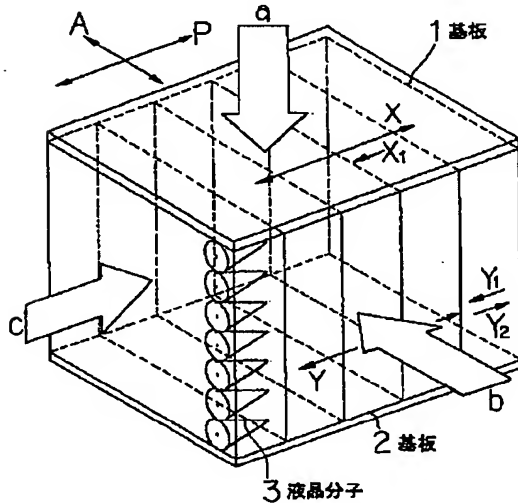
【図52】図43に示す駆動波形に対する試料セルUの応答波形を示す図である。

【図53】図43に示す駆動波形に対する試料セルVの応答波形を示す図である。

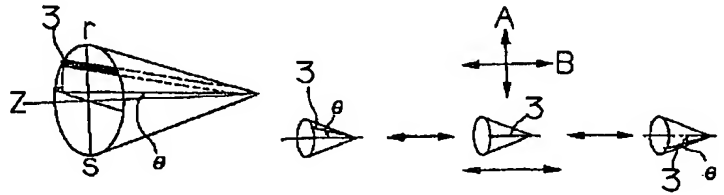
【符号の説明】

1、2……基板、1a、2a……ガラス基板、1b、2b……透明電極、1c、2c……配向膜、3……液晶分子、4……ポーラライザ（偏光子）、5……アナライザ（偏光子）、6……交差角 α の二等分線方向、7、8……一軸配向方向、9……スメクチック層、10……スメクチックコーン

【図1】



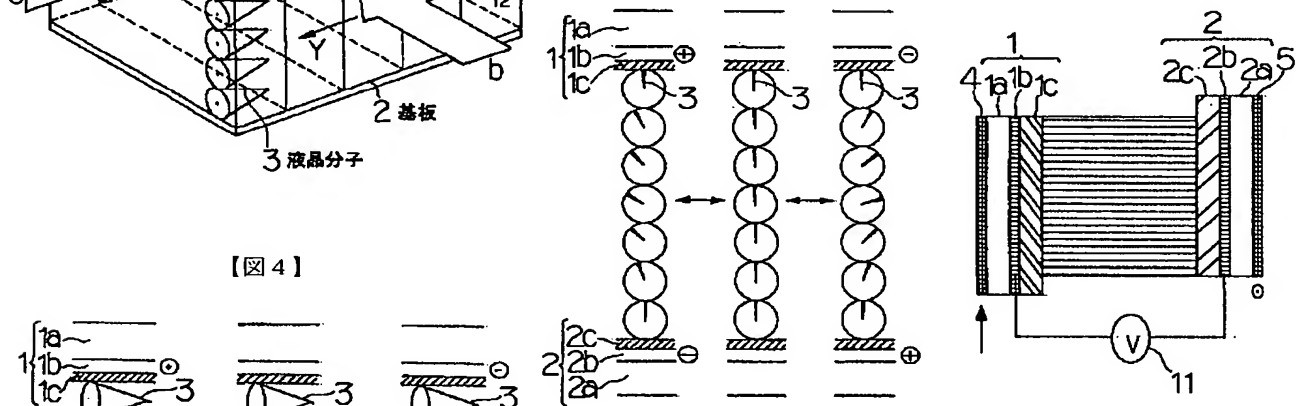
【図2】



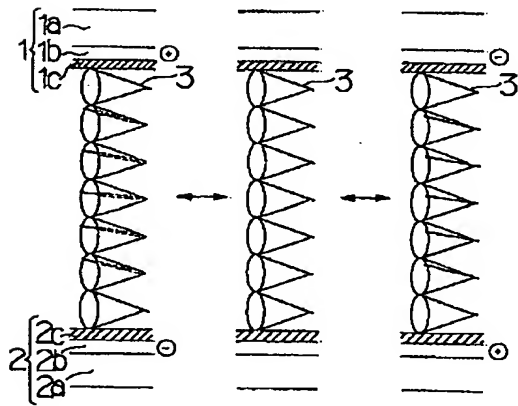
【図3】

【図5】

【図7】

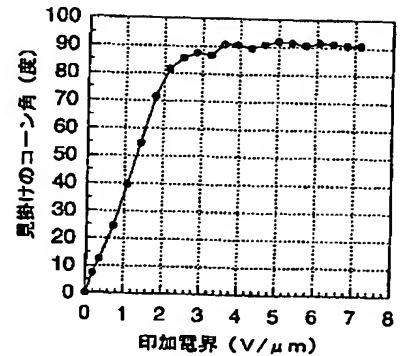
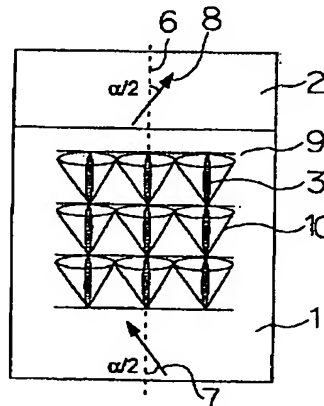


【図4】

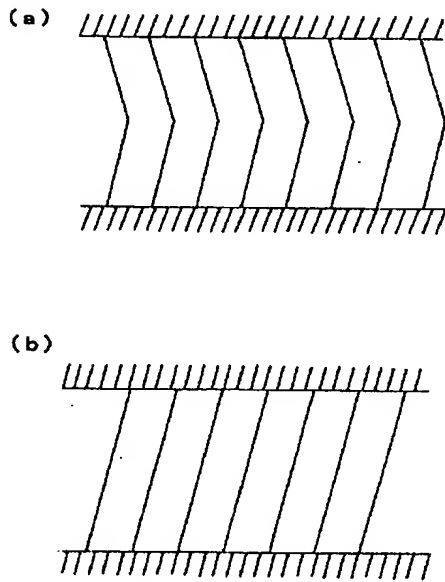


【図8】

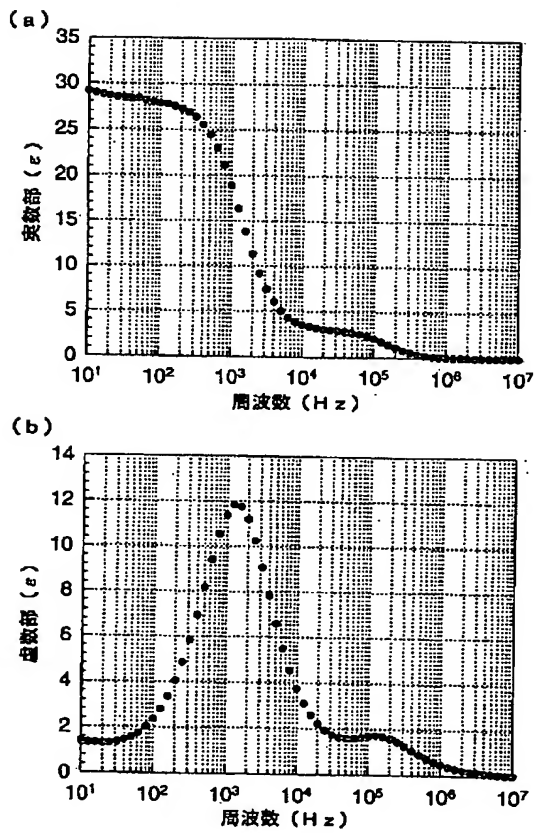
【図12】



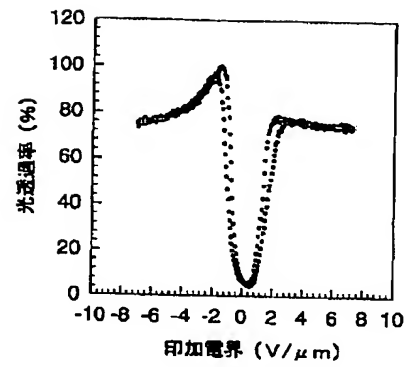
【図 6】



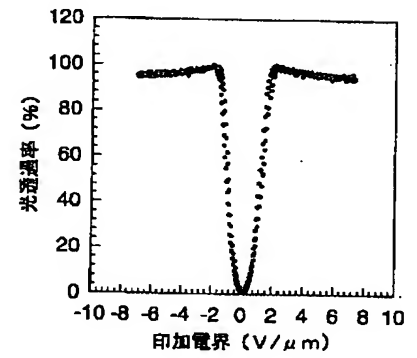
【図 10】



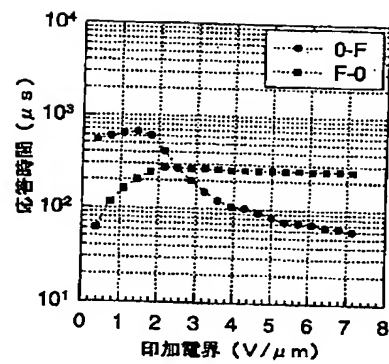
【図 9】



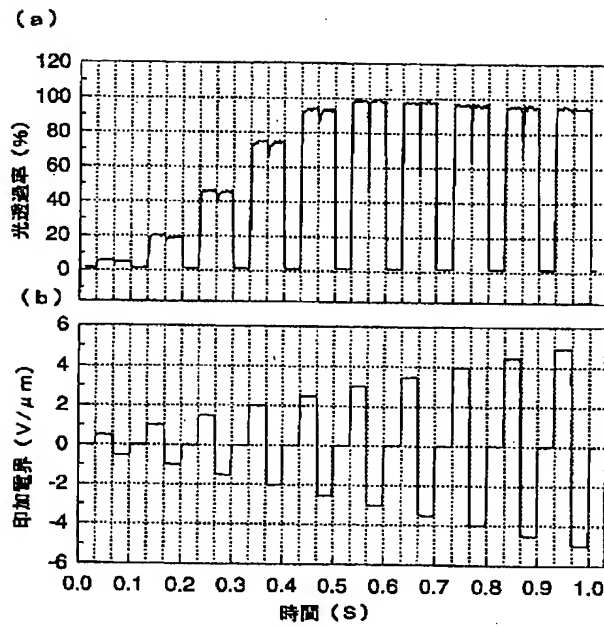
【図 11】



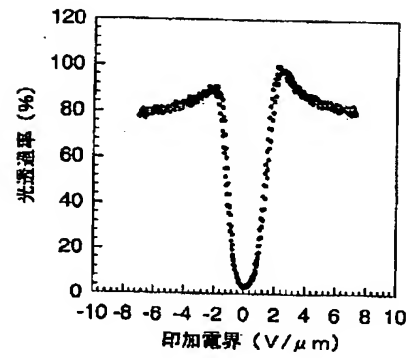
【図 13】



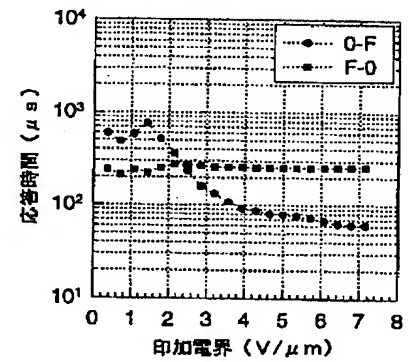
【図14】



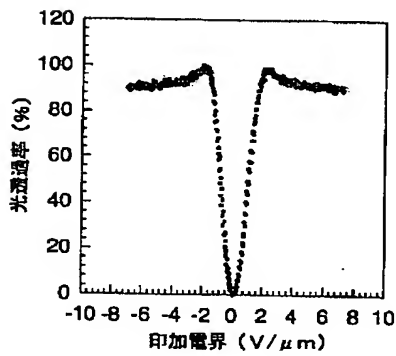
【図15】



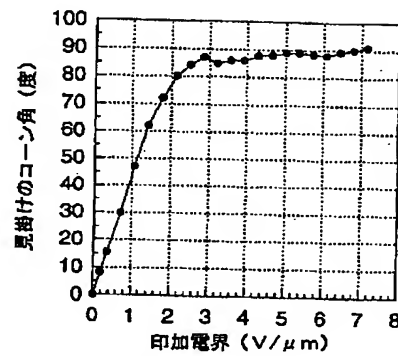
【図18】



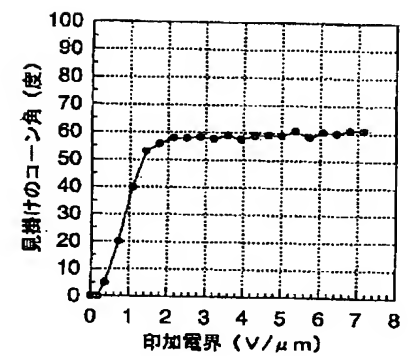
【図16】



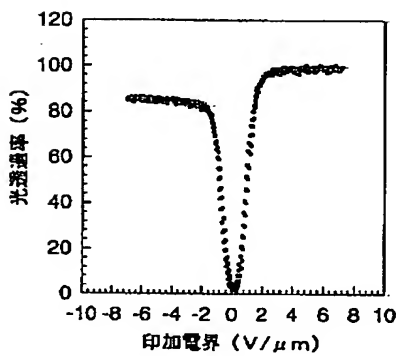
【図17】



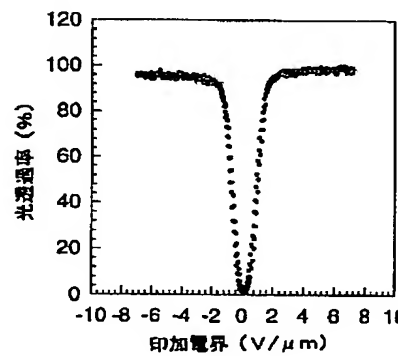
【図23】



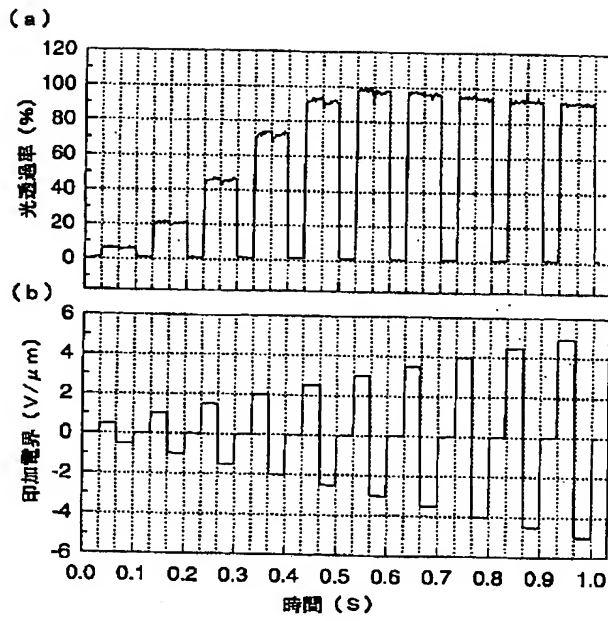
【図20】



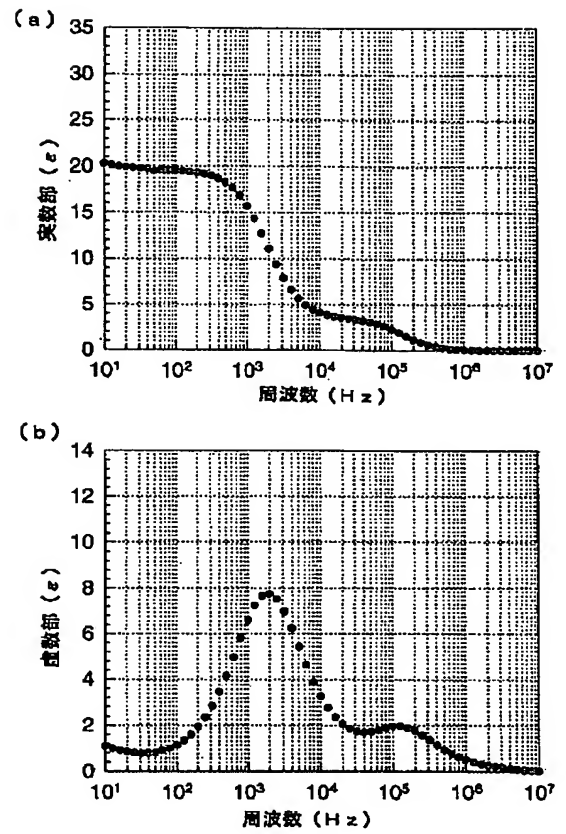
【図22】



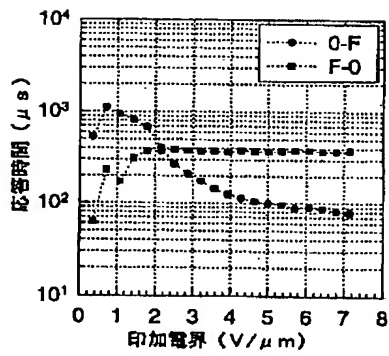
【図 19】



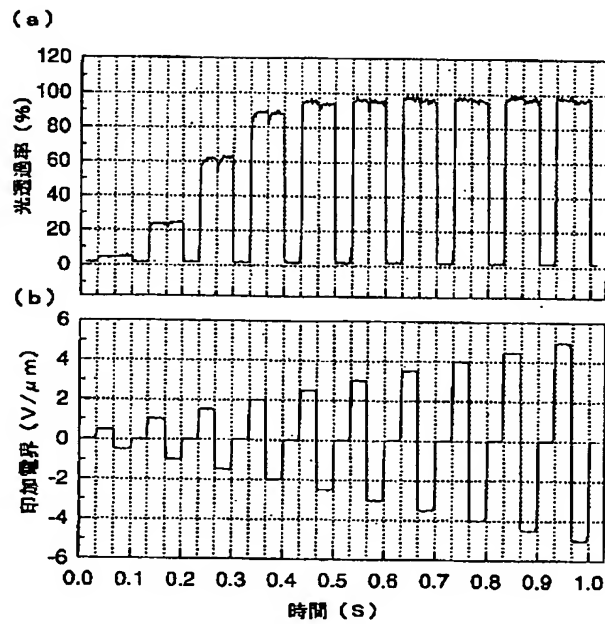
【図 21】



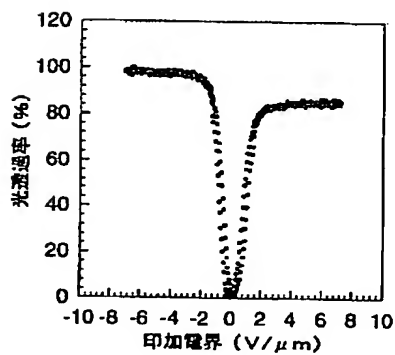
【図 24】



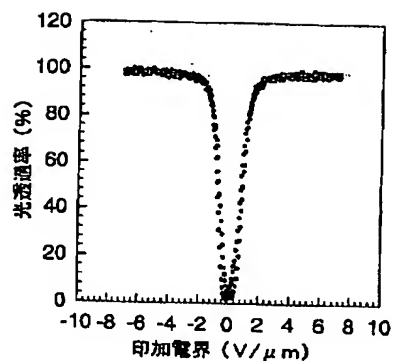
【図 25】



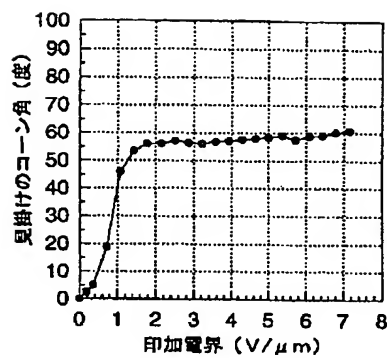
【図 26】



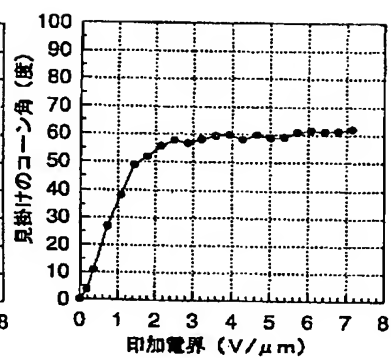
【図27】



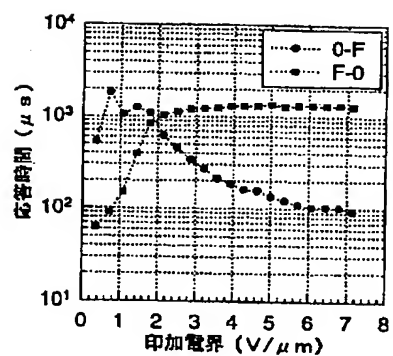
【図28】



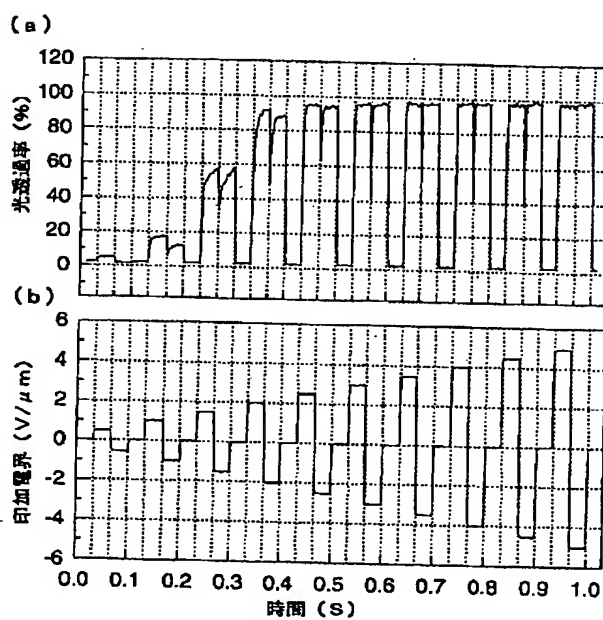
【図39】



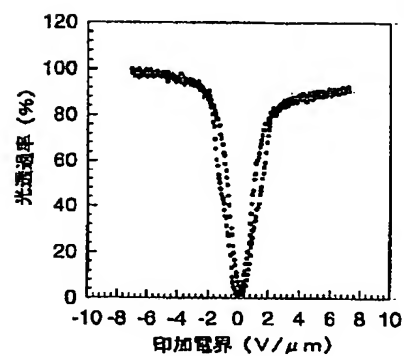
【図29】



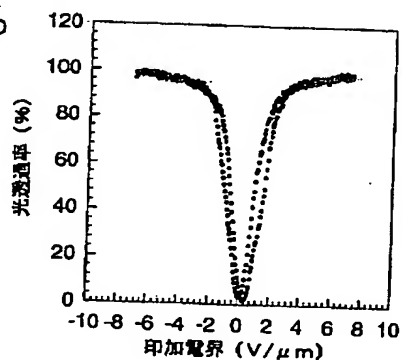
【図30】



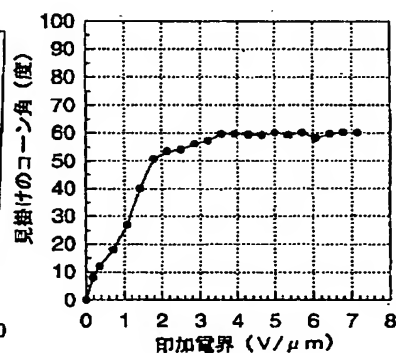
【図31】



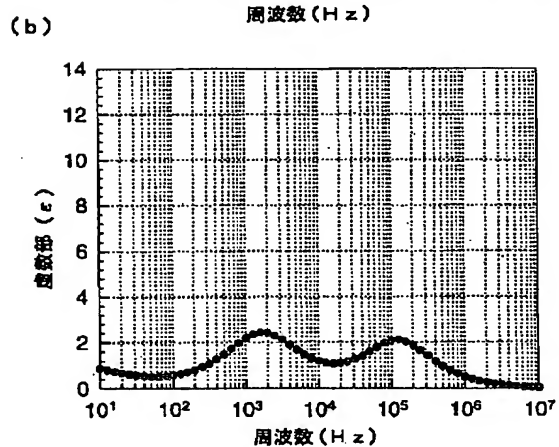
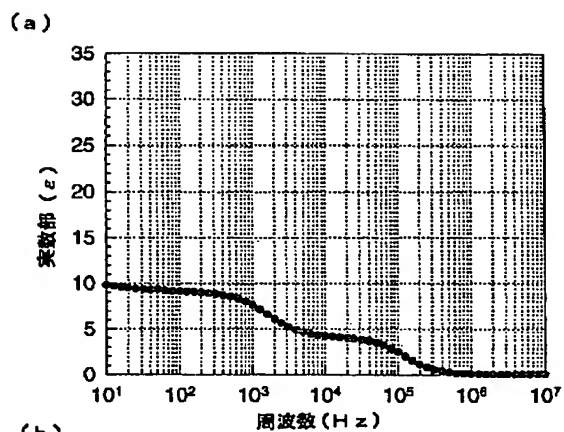
【図33】



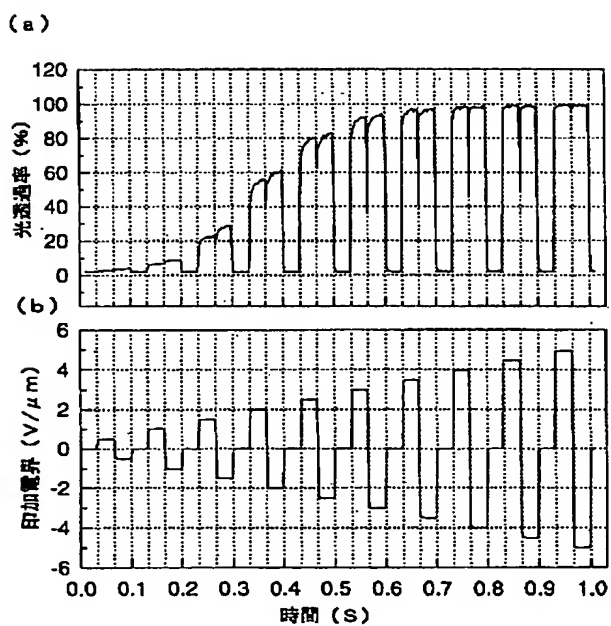
【図34】



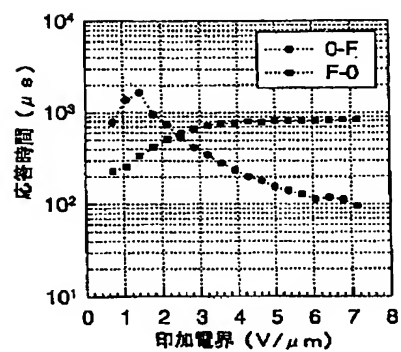
【図 3 2】



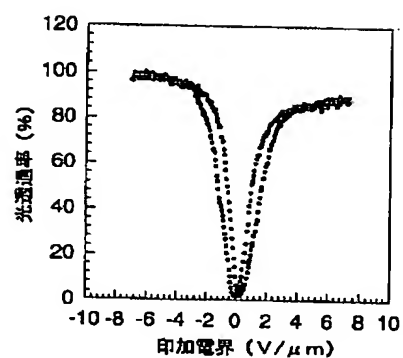
【図 3 6】



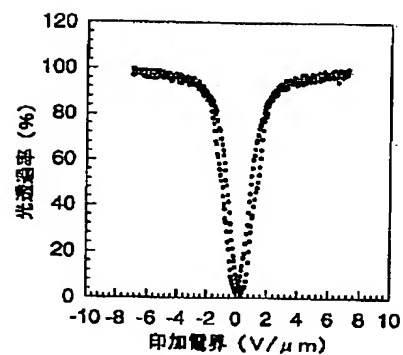
【図 3 5】



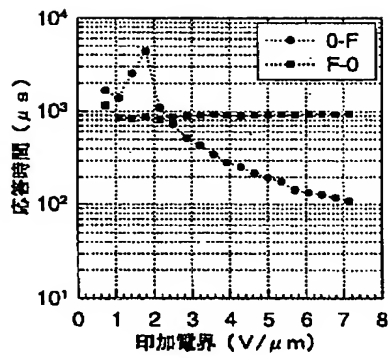
【図 3 7】



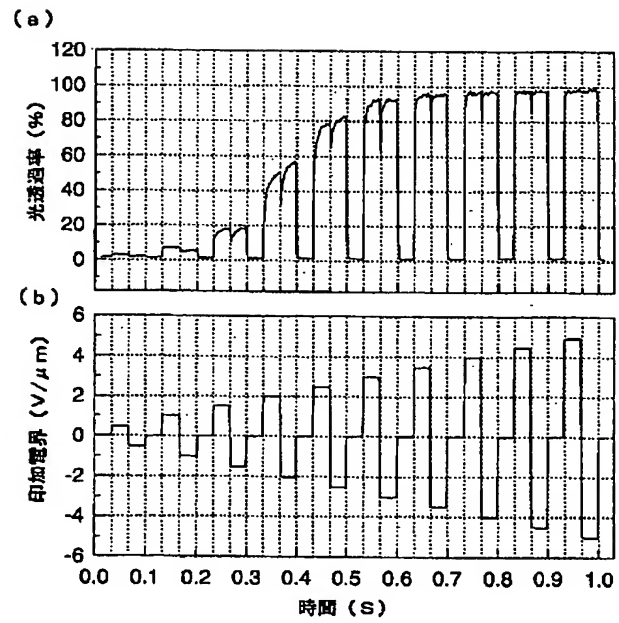
【図 3 8】



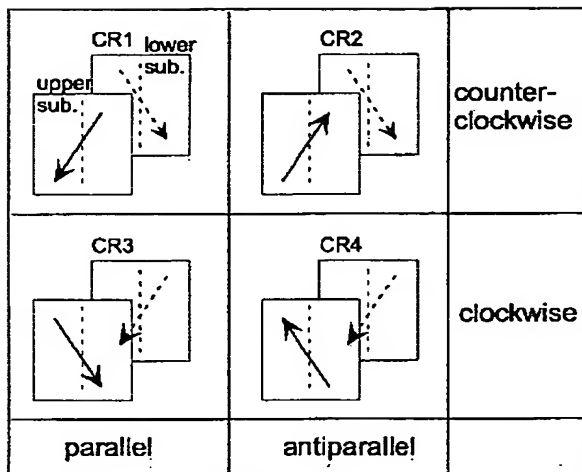
【図40】



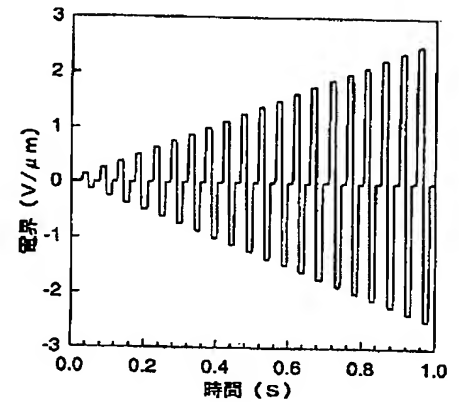
【図41】



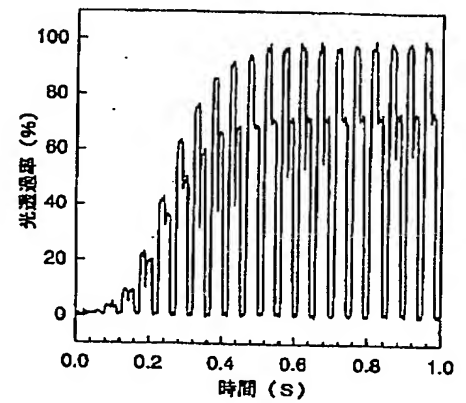
【図42】



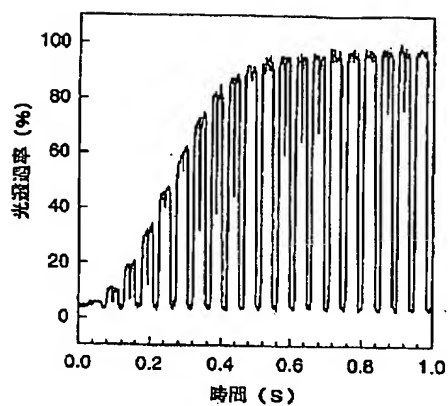
【図43】



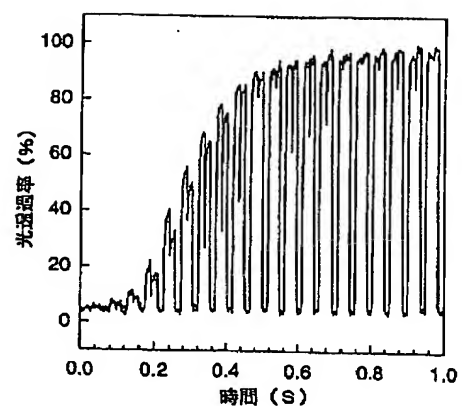
【図44】



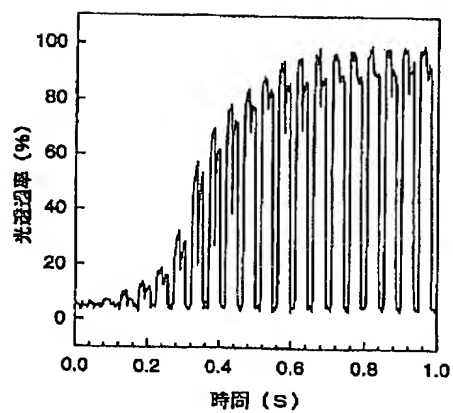
【図 45】



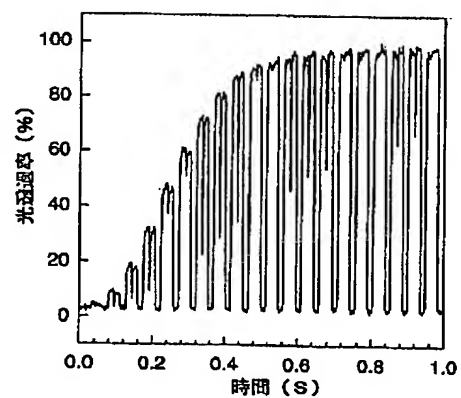
【図 46】



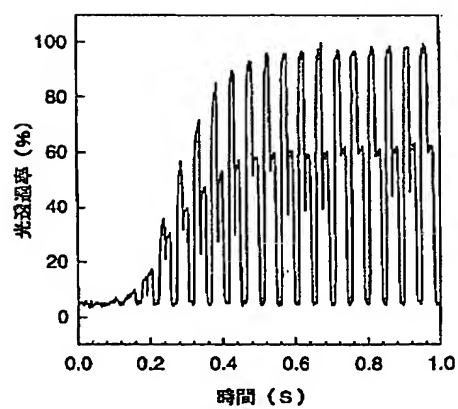
【図 47】



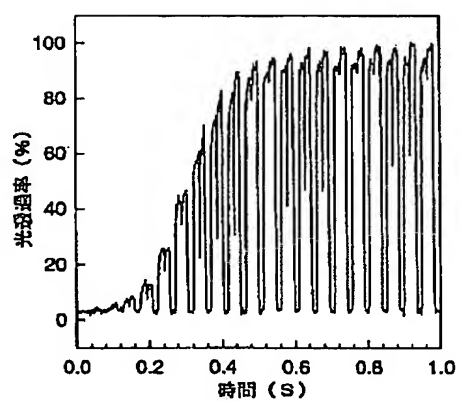
【図 48】



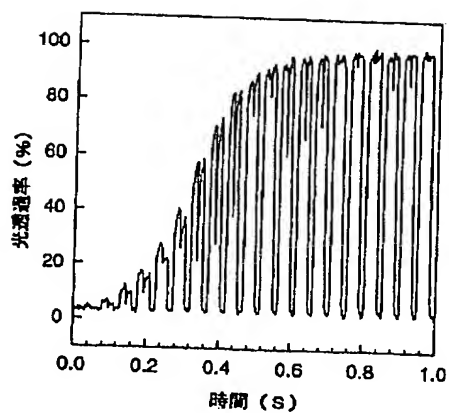
【図 49】



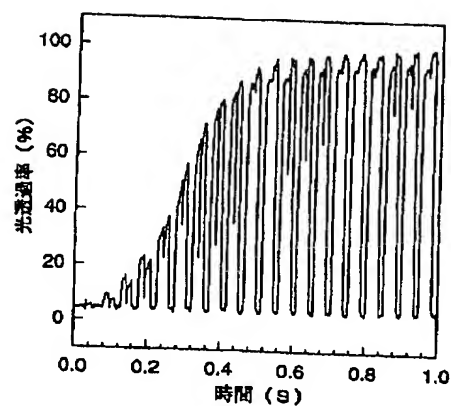
【図 50】



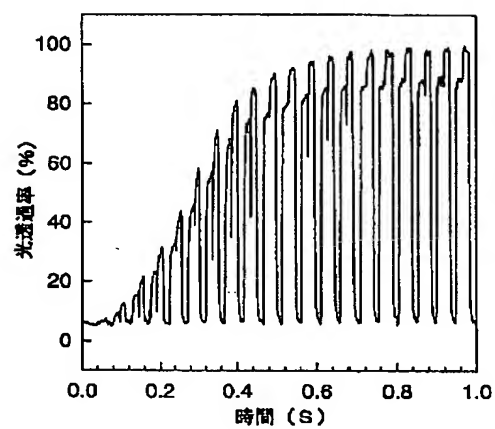
【図51】



【図52】



【図53】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H088 HA01 HA03 HA18 JA05 JA13
 JA17 KA30
 2H090 HB08Y KA05 KA08 KA14
 LA09 MA02 MA10 MB01 MB06
 2H093 NA31 ND60 NF05 NF13 NF17